

Aplicación de la inteligencia artificial en el desarrollo de energías renovables

Marjon Alexander Godoy Godoy
Código estudiantil: 202113121596

Trabajo de investigación del programa: **Ingeniería Mecánica**

Tutor:

Pablo Yazael Rios Leon

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar en profundidad el papel de la inteligencia artificial (IA) en la optimización de los procesos de generación, gestión y distribución de energías renovables, haciendo énfasis en el caso colombiano y, particularmente, en la región de Cúcuta. En un escenario global marcado por la crisis climática, el agotamiento de recursos fósiles y la necesidad urgente de descarbonizar las economías, las energías limpias como la solar y la eólica se consolidan como opciones estratégicas para avanzar hacia un modelo energético más sostenible, resiliente y tecnológicamente avanzado.

A pesar del crecimiento exponencial que ha tenido la instalación de infraestructuras para el aprovechamiento de energías renovables en América Latina, su integración efectiva al sistema energético presenta múltiples retos. Entre los más relevantes se encuentran la intermitencia natural de estas fuentes, que dificulta la estabilidad en la oferta; las limitaciones tecnológicas en el almacenamiento de energía;

y los cuellos de botella en los sistemas de distribución, especialmente en regiones periféricas o con infraestructura obsoleta. Frente a estos desafíos, la inteligencia artificial se perfila como una herramienta poderosa para transformar la manera en que se concibe y opera el sector energético.

Este trabajo adopta una metodología de enfoque cualitativo, estructurada a partir de la revisión de literatura científica, el análisis normativo nacional e internacional, y entrevistas semiestructuradas con expertos en los sectores energético y tecnológico. Además, se incluye un estudio de caso sobre la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial en el diseño y operación de parques eólicos, lo cual permite ilustrar el impacto concreto de esta tecnología en contextos similares al colombiano.

Los hallazgos evidencian avances importantes en el uso de modelos de aprendizaje automático para la predicción del comportamiento de fuentes energéticas renovables, como la radiación solar o la velocidad del viento, con niveles de precisión que superan ampliamente los métodos tradicionales. Asimismo, se ha identificado el uso exitoso de sistemas de IA para el mantenimiento predictivo de turbinas y paneles solares, lo cual reduce significativamente los costos operativos y el tiempo de inactividad de las plantas. También se resalta el papel de la inteligencia artificial en la gestión inteligente de redes eléctricas (smart grids), permitiendo el equilibrio dinámico entre oferta y demanda energética en tiempo real.

Sin embargo, el estudio también pone de relieve una serie de obstáculos estructurales que dificultan la adopción plena de estas tecnologías en Colombia. Entre ellos se encuentran la falta de infraestructura tecnológica adecuada, la escasa

disponibilidad de datos energéticos abiertos y de calidad, la brecha en la formación de talento humano especializado, y vacíos en la normativa regulatoria que no contemplan de manera suficiente el uso de sistemas inteligentes en la planificación energética.

En el contexto regional, Cúcuta representa una zona con un alto potencial para la implementación de proyectos basados en energía solar, debido a su ubicación geográfica y condiciones climáticas favorables. Además, se observa una creciente apertura del sector empresarial hacia la adopción de tecnologías limpias, lo que podría facilitar la incorporación de soluciones basadas en inteligencia artificial en los procesos de planificación y operación energética local.

En conclusión, la inteligencia artificial puede desempeñar un papel clave como catalizador en la transición hacia un modelo energético más sostenible, eficiente y autónomo. No obstante, para que su implementación sea efectiva, se requiere de un trabajo articulado entre las instituciones del Estado, la academia, el sector privado y los entes reguladores. Solo mediante una visión estratégica, interdisciplinaria e inclusiva será posible superar las barreras existentes y consolidar un ecosistema energético inteligente, capaz de responder a las exigencias del siglo XXI.

Palabras clave: Inteligencia artificial, Energías renovables, Optimización energética, Transición energética, Sostenibilidad.

ABSTRACT

This study aims to conduct an in-depth analysis of the role of artificial intelligence (AI) in optimizing the processes of generation, management, and distribution of renewable energies, with particular emphasis on the Colombian context and, specifically, the region

of Cúcuta. In a global scenario marked by the climate crisis, the depletion of fossil resources, and the urgent need to decarbonize economies, clean energy sources such as solar and wind power are being consolidated as strategic options to advance toward a more sustainable, resilient, and technologically advanced energy model.

Despite the exponential growth in the installation of infrastructure for harnessing renewable energies in Latin America, their effective integration into the energy system presents multiple challenges. Among the most relevant are the natural intermittency of these sources, which hinders supply stability; technological limitations in energy storage; and bottlenecks in distribution systems, especially in peripheral regions or those with outdated infrastructure. In the face of these challenges, artificial intelligence emerges as a powerful tool to transform how the energy sector is conceived and operated.

This work adopts a qualitative methodological approach, structured around a review of scientific literature, national and international regulatory analysis, and semi-structured interviews with experts in the energy and technology sectors. Additionally, it includes a case study on the application of artificial intelligence algorithms in the design and operation of wind farms, illustrating the concrete impact of this technology in contexts similar to Colombia.

The findings show significant progress in the use of machine learning models to predict the behavior of renewable energy sources, such as solar radiation or wind speed, with levels of accuracy that far exceed traditional methods. Likewise, the successful use of AI systems for predictive maintenance of turbines and solar panels has been identified, significantly reducing operational costs and plant downtime. The role of artificial

intelligence in the intelligent management of electrical grids (smart grids) is also highlighted, allowing for the dynamic balancing of energy supply and demand in real time.

However, the study also underscores a series of structural obstacles that hinder the full adoption of these technologies in Colombia. Among them are the lack of adequate technological infrastructure, limited availability of open and high-quality energy data, a gap in the training of specialized human talent, and regulatory shortcomings that do not sufficiently address the use of intelligent systems in energy planning.

At the regional level, Cúcuta represents an area with high potential for the implementation of solar energy projects due to its geographical location and favorable climatic conditions. Furthermore, a growing openness in the business sector to the adoption of clean technologies has been observed, which could facilitate the integration of AI-based solutions in local energy planning and operation processes.

In conclusion, artificial intelligence can play a key role as a catalyst in the transition toward a more sustainable, efficient, and autonomous energy model. However, for its implementation to be effective, coordinated efforts are required among state institutions, academia, the private sector, and regulatory bodies. Only through a strategic, interdisciplinary, and inclusive vision will it be possible to overcome existing barriers and consolidate an intelligent energy ecosystem capable of meeting the demands of the twenty-first century.

Keywords: Artificial intelligence, Renewable energy, Energy optimization, Energy transition, Sustainability.

REFERENCIAS

1. Abadi, M., et al. (2016). *TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems*. arXiv preprint arXiv:1603.04467.
2. Agencia Internacional de Energía. (2020). *World Energy Outlook 2020*.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
3. García, M., & Sánchez, L. (2023). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la optimización de energías renovables. Editorial Científica Energía Verde.
4. García, M., & Sánchez, L. (2023). Machine learning approaches for real-time solar power forecasting and distribution optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 170, 112952. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.112952>
5. Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
6. Gómez, J., & Martínez, R. (2018). Aplicación de redes neuronales para la optimización de la generación energética solar en Santander. *Revista Colombiana de Energías Renovables*, 5(1), 45–54.
7. González, A., et al. (2023). Retos y oportunidades para la IA en energías renovables en Colombia. *Revista Colombiana de Energías Renovables*, 12(1), 45–61.
8. Hossain, M., et al. (2021). Deep learning for solar power forecasting: A review. *Renewable Energy*, 164, 1077-1093.
9. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *Innovation Outlook: Artificial Intelligence for the Power Sector*.

<https://www.irena.org/publications/2020/Oct/Innovation-Outlook-Artificial-Intelligence>

10. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *Artificial Intelligence and Big Data: Innovation landscape brief*. <https://www.irena.org/publications/2021>
11. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). *Renewable energy statistics 2022*. <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-energy-statistics-2022>
12. Jiménez, D., & Vargas, F. (2022). Optimización del consumo energético en edificios inteligentes mediante machine learning en Bogotá. *Revista Colombiana de Tecnologías Sostenibles*, 10(2), 78–89.
13. King, R. (2021, November 10). Using AI to reimagine the design of wind farms. *Fast Company*. <https://www.fastcompany.com/90697239/using-ai-to-reimagine-the-design-of-wind-farms>
14. Kumar, S., & Singh, R. (2019). Application of artificial intelligence techniques in wind energy systems: A review. *Energy Conversion and Management*, 180, 130–147. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.047>
15. Li, J., et al. (2022). Explainable AI models for wind energy prediction. *Energy Reports*, 8, 1599–1609.
16. Liu, X., Wang, Y., & Zhang, Z. (2017). Machine learning approaches for solar power forecasting: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.267>
17. Liu, X., Zhang, Y., & Wang, H. (2017). Deep neural networks for solar power generation forecasting: A data-driven approach. *Renewable Energy*, 105, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.058>

18. Liu, Y., Chen, J., & Wang, X. (2017). Machine learning approaches for renewable energy forecasting: A review. *Renewable Energy Journal*, 105, 345–356.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.040>
19. López, A., & Martínez, J. (2020). Automation and remote supervision in renewable energy systems. *Journal of Renewable Energy Technology*, 15(3), 112–124.
20. López, R., & Martínez, F. (2020). Inteligencia artificial para la gestión eficiente de energías renovables. Universidad Tecnológica Nacional.
21. Martínez, F., Gómez, P., & Sánchez, D. (2021). Adaptive algorithms for microgrid energy management integrating solar and wind sources. *Energy Reports*, 7, 1022–1031. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.03.018>
22. Martínez, J., Torres, P., & Delgado, R. (2021). Adaptive algorithms for smart grid and microgrid energy management. *Journal of Energy Systems*, 34(2), 112–130.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.11.005>
23. Martínez, R., Sánchez, P., & Gómez, L. (2021). Intelligent algorithms for the management of smart grids and energy storage systems. *Energy Systems*, 12(2), 265–282. <https://doi.org/10.1007/s12667-020-00409-x>
24. MathWorks. (2023). *MATLAB for renewable energy simulation*.
<https://www.mathworks.com>
25. Ministerio TIC. (2022). *Informe sobre capacidades digitales y tecnológicas en Colombia*. Bogotá: Gobierno de Colombia.
26. National Renewable Energy Laboratory. (2021). *NREL researchers use AI to improve wind plant performance*. U.S. Department of Energy.

<https://www.nrel.gov/news/program/2021/nrel-researchers-use-ai-to-improve-wind-plant-performance.html>

27. Ocampo, R., & Sánchez, L. (2022). Gestión socio-técnica de energías renovables con inteligencia artificial. *Revista Latinoamericana de Energía*, 17(3), 90–105.
28. Pérez, A., Gómez, S., & Herrera, V. (2020). Predicción de la generación energética renovable mediante análisis de datos meteorológicos. *Revista Iberoamericana de Energías Renovables*, 28(1), 58–73.
29. Pérez, L., Morales, J., & Torres, A. (2020). Hybrid AI-based models for renewable energy management and storage optimization. *Journal of Energy Storage*, 28, 101189. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101189>
30. Pérez, M., & Méndez, F. (2023). Costos y barreras tecnológicas en IA para energías renovables. *Ingeniería y Tecnología*, 45(2), 123–134.
31. Pérez, Y., & Ramos, J. (2021). Aplicaciones de la inteligencia artificial en energías renovables: una revisión crítica. *Revista Iberoamericana de Energía*, 17(2), 45–66. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4567891>
32. Ramírez, C., Fernández, J., & Ortiz, M. (2020). Desafíos y oportunidades de la inteligencia artificial en el sector energético renovable. *Tecnología y Desarrollo Sustentable*, 15(3), 85–98.
33. Ramírez, J., & Castillo, P. (2021). Sistema híbrido de gestión energética con IA para microrredes comunitarias en el Valle del Cauca. *Revista de Ingeniería Electrónica y Energía*, 16(3), 201–213.
34. Ramírez, J., & Torres, P. (2022). Calidad de datos en sistemas de energía solar. *Journal of Renewable Data Science*, 4(2), 33–47.

35. Ramírez, M., Fernández, A., & Torres, J. (2020). Challenges and opportunities in the adoption of AI technologies for renewable energy systems. *Sustainable Energy Reviews*, 119, 109553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109553>
36. Rodríguez, A., Pérez, M., & López, C. (2019). Sistema de monitoreo inteligente para parques eólicos en La Guajira usando aprendizaje automático. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(2), 123–134.
37. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
38. Sánchez, L., & Gómez, A. (2021). Mantenimiento predictivo y control inteligente en plantas de energía renovable. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 19(4), 200–214.
39. Thomas, J., King, R. N., Bakhshaii, A., & Quon, E. (2022). *Graph neural networks for wind plant layout optimization*. National Renewable Energy Laboratory (NREL). <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81724.pdf>
40. Zhang, Q., & Wang, S. (2020). Application of SVM in wind speed forecasting. *Energy Procedia*, 158, 2257–2262.
41. Zhang, Z., Qin, F., Liu, G., & Li, H. (2020). The role of AI in renewable energy transition: A systematic review and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122135>
42. Zou, P. X., Zhao, G., & Zhang, L. (2019). Artificial intelligence-based fault detection and diagnosis methods for building energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.065>