

Análisis bibliométrico de herramientas informáticas para la eficiencia energética en la industria biofarmacéutica en el contexto de la industria 4.0

Bibliometric analysis of computer tools for energy efficiency in the biopharmaceutical industry in the context of industry 4.0

Yasniel Sánchez Suárez ^{1,2*} <https://orcid.org/0000-0003-1095-1865>

Nelson José Ramírez González ³ <https://orcid.org/0009-0009-5608-2934>

Arialys Hernández Nariño ^{2,4} <https://orcid.org/0000-0002-0180-4866>

Darian Samá Muñoz ^{2,5} <https://orcid.org/0000-0002-7380-6115>

Gianny David Quesada Martínez ⁶ <https://orcid.org/0000-0002-7702-5236>

¹ Universidad de Matanzas. 40100. yasnielsanchez9707@gmail.com

² Centro de Estudios Futuro. 40100. cef@cefuturopdl.org

³ Proyecto de Desarrollo Local RUTA FUTURO. 40100. jr9893787@gmail.com

⁴ Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas. 40100. arialishn.mtz@infomed.sld.cu

⁵ Universidad Agraria de la Habana (UNAH). 32700. sama@unah.edu.cu

⁶ Universidad de Oriente. 90100. gianny.quesada@uo.edu.cu.

*Autor para la correspondencia. (yasnielsanchez9707@gmail.com)

RESUMEN

La industria biofarmacéutica enfrenta una presión creciente para optimizar su uso de energía, dada la demanda de ambientes controlados y la necesidad de reducir su huella ambiental. En el contexto de la Industria 4.0, las herramientas informáticas emergen como soluciones clave. El objetivo es analizar la producción científica relacionada con el uso de herramientas informáticas enfocadas a la eficiencia energética en biofarmacéuticas en el contexto de la industria 4.0. Se realizó un estudio bibliométrico retrospectivo (2018-2025) en Scopus, siguiendo la declaración PRISMA. La fórmula de búsqueda combinó términos como "software tools", "energy" e "industry 4.0". De 1098 documentos iniciales, se seleccionaron aquellos que implementaban herramientas informáticas en biofarmacéuticas. El análisis incluyó indicadores de producción, áreas del conocimiento y un análisis de coocurrencia de palabras clave con VOSviewer. Se identificó una tendencia creciente con un pico de 317 publicaciones en 2024. Las áreas de Ingeniería (536 documentos) y Ciencias de la Computación (518) fueron las más productivas. El análisis de coocurrencia reveló dos líneas principales de investigación: 1) optimización de plantas *Waste-to-Energy* con *Internet of Things* y *machine learning* (potencial de mejora del 15-20 %), y 2) desarrollo de sistemas de gestión energética industrial inteligentes basados en *machine learning* para optimizar la producción. La investigación sintetiza un conjunto de herramientas informáticas avanzadas que responden a retos específicos del sector, ofreciendo un marco para su implementación en la industria biofarmacéutica, donde su adopción actual es aún limitada. Se sugieren estudios de viabilidad en el contexto cubano.

Palabras clave: análisis bibliométrico; biofarmacéuticas; eficiencia energética; herramientas informáticas; industria 4.0.

ABSTRACT

The biopharmaceutical industry faces growing pressure to optimize its energy use, due to the demand for controlled environments and the need to reduce its environmental footprint. Within the context of Industry 4.0, computer tools emerge as key solutions. The objective is to analyze the scientific production related to the use of computer tools focused on energy efficiency in biopharmaceuticals within the context of Industry 4.0. A retrospective bibliometric study (2018-2025) was conducted in Scopus, following the PRISMA statement. The search formula combined terms such as "software tools," "energy," and "industry 4.0." From

an initial 1098 documents, those that implemented computer tools in biopharmaceuticals were selected. The analysis included production indicators, subject areas, and a keyword co-occurrence analysis using VOSviewer. An increasing trend was identified, with a peak of 317 publications in 2024. The areas of Engineering (536 documents) and Computer Science (518) were the most productive. The co-occurrence analysis revealed two main research lines: 1) optimization of Waste-to-Energy plants using Internet of Things and machine learning (potential improvement of 15-20%), and 2) development of intelligent industrial energy management systems based on machine learning for production optimization. The research synthesizes a set of advanced computer tools that address specific sector challenges, offering a framework for their implementation in the biopharmaceutical industry, where their current adoption remains limited. Feasibility studies in the Cuban context are suggested.

Keywords: bibliometric analysis; biopharmaceuticals; energy efficiency; IT tools; industry 4.0.

Recibido: 16/02/2026

Aceptado: 11/03/2026

Publicado: 01/04/2026

Introducción

En un mundo con un desafío sin precedentes como el cambio climático, la eficiencia energética se ha posicionado como una estrategia clave para garantizar la sostenibilidad económica y ambiental. La eficiencia energética no solo reduce el consumo de recursos, sino que también disminuye costos operativos, mejora la competitividad empresarial y fortalece la seguridad energética. Gillingham et al. (2009) destacan que las inversiones en tecnologías eficientes, como iluminación LED (del inglés *Light-Emitting Diode*) y sistemas HVAC (del inglés *Heating, Ventilation and Air Conditioning*) optimizados, tienen períodos de retorno cortos y altos beneficios a largo plazo.

Además, en el ámbito industrial, estrategias como la gestión de la energía (ISO 50001) y el uso de inteligencia artificial (IA) para optimizar procesos han demostrado reducciones en el consumo energético (Chalhoub, 2024). En el sector residencial, la adopción de electrodomésticos de bajo consumo y el diseño de edificios con criterios de eficiencia son esenciales para mitigar la huella ecológica (Carpio Guerrero et al., 2025).

Cuba enfrenta una crisis energética multifactorial, marcada por limitaciones en la generación eléctrica, y dependencia de combustibles importados. En este escenario, la eficiencia energética se posiciona como una solución estratégica para avanzar hacia un modelo más sostenible (Correa Soto, 2021). Según estudios recientes, el potencial de ahorro energético en Cuba podría mejorar con la implementación de medidas adecuadas (Chaves et al., 2021). En este contexto, la matriz energética cubana es vulnerable a fluctuaciones de precios y bloqueos económicos. Aunque el país ha impulsado las energías renovables (fotovoltaica y biomasa), su introducción aún es limitada (Massó-Bizet & Zapata-Balanqué, 2015). La transición hacia un modelo energético eficiente alinearé a Cuba con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y 13).

La Industria 4.0 integra la Internet of Things (IoT), IA y big data para optimizar el consumo energético, en función de la reducción de costos y emisiones (Tobías Macías et al., 2024). Estudios demuestran que estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia de los procesos industriales (Peñalver-Higuera et al., 2025). Las industrias biofarmacéuticas presentan particularidades únicas en su consumo energético, debido a la necesidad de ambientes estrictamente controlados y procesos regulados, lo que incrementa el uso de energía, especialmente en sistemas de climatización y ventilación (Morales Baque et al., 2021). La optimización de la eficiencia energética en la producción de medicamentos es un campo en crecimiento, donde la implementación de tecnologías avanzadas permiten reducir el consumo sin afectar la calidad del producto (Chen et al., 2023). Además, se han evaluado diferentes estrategias de operación, como procesos en modo fed-batch y perfusión, para mejorar el desempeño ambiental y económico (Pollock et al., 2013).

La industria biofarmacéutica enfrenta una presión creciente por la necesidad de reducir su huella ambiental (Sarkis et al., 2024). En los últimos años, el sector ha priorizado la eficiencia energética, mediante estrategias de gestión que permiten minimizar el consumo sin comprometer la calidad del producto (Fernández Gómez, 2021). España destaca ya que el 70 % de la energía utilizada en la producción de

medicamentos proviene de fuentes renovables, lo que ha permitido reducir la generación de residuos y mejorar la sostenibilidad del sector (Durán Romero, 2024).

En el contexto cubano, las principales regulaciones sobre el uso de la energía están centradas en el Decreto 110/2024 del Consejo de Ministros, que establece normas para el control y uso eficiente de los portadores energéticos y las fuentes renovables de energía, exige que los grandes consumidores generen al menos el 50 % de su electricidad con fuentes renovables en un plazo de tres años. Otra regulación relevante es el Decreto Ley No. 345, que impulsa el desarrollo de fuentes renovables y el uso eficiente de la energía como parte de la política nacional para alcanzar el 24 % de generación eléctrica renovable antes de 2030.

En el contexto de la Industria 4.0, las biofarmacéuticas están adoptando herramientas informáticas avanzadas para optimizar el uso de energía y mejorar la eficiencia operativa (Sugandha et al., 2023). Entre las principales destacan los sistemas de gestión energética basados en IoT (Gualapuro Sánchez et al., 2025), que permiten monitorizar en tiempo real el consumo energético y detectar ineficiencias a través de sensores inteligentes y plataformas en la nube. A pesar de que existen herramientas su introducción en la empresa biofarmacéutica cubana es insuficiente, lo que hace necesario conocer las principales herramientas que se utilizan a nivel internacional, bajo qué condiciones y las posibilidades de implementación. El objetivo de la investigación es analizar la producción científica relacionada con el uso de herramientas informáticas enfocadas a la eficiencia energética en biofarmacéuticas en el contexto de la industria 4.0.

Métodos

La investigación se desarrolló bajo el enfoque del paradigma cuantitativo (Sánchez-Suárez et al., 2023), a partir de un estudio retrospectivo – descriptivo y bibliométrico. Se realizó una búsqueda sistemática de acuerdo a la declaración Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Moher et al., 2010), en la base de datos SCOPUS (<https://www.scopus.com/>), Se implementó en el período 2018 – 2025. La fórmula de búsqueda quedó estructurada: TITLE-ABS-KEY (("software tools" OR "ITs tools" OR "computerized tools") AND ("energy" OR "energetic") AND "industry 4.0" AND

"biopharmaceutical") sin resultados preliminares por lo que se eliminó el término "biopharmaceutical". La búsqueda se realizó el 12 de mayo de 2025 y arrojó un total de 1098 resultados.

Para la revisión en profundidad (todo el manuscrito) se realizó por dos investigadores de manera independiente, en un proceso interno doble ciego, que identificaron que del total (1098) solo 54 abordaron herramientas informáticas en el sector y solo 28 enfocadas en optimizar la eficiencia energética. Luego en trabajo conjunto se compararon los resultados y se llegó al consenso de la muestra final de investigaciones a analizar (n= 28). Se analizaron los indicadores que se describen en la tabla 1.

Tabla 1 - Indicadores bibliométricos seleccionados.

Clasificación	Indicador	Descripción – Fuente de información
Producción	Tendencia	Relaciona la cantidad de investigaciones por año, que evidencia las tendencias en el desarrollo de las investigaciones. SCOPUS (formato .CSV)
	Por tipo de documento	Relaciona la cantidad de investigaciones por tipo de documento. SCOPUS (formato .CSV)
	Área del conocimiento	Relaciona la cantidad de investigaciones por área del conocimiento. SCOPUS (formato .CSV)
	País	Mide el impacto del país por la cantidad de investigaciones publicadas en la base de datos en un período determinado. SCOPUS (formato .CSV)

Fuente. Elaboración propia

Se construyó el mapa bibliométrico *network* a partir del *software* VOSviewer, con el objetivo de realizar un análisis de coocurrencia de palabras clave mediante un análisis clúster, donde de la cuantificación y asociación de ítems del mapa se identificaron y describieron las principales líneas de investigación científica. Las líneas de investigación se asociaron a los ODS a los que responden.

Síntesis de herramientas informáticas

Del estudio en profundidad de las investigaciones se identificaron retos de las industrias biofarmacéuticas y se explicaron el contexto de estos retos desde la unificación de los diferentes criterios por parte de los investigadores, elemento que se relacionó con las soluciones informáticas mostradas. Luego del análisis – síntesis de los diferentes problemas, contextos y soluciones se construye un diagrama de afinidad para relacionar estos elementos con las herramientas informáticas.

Resultados y discusión

El comportamiento de las investigaciones es homogéneo y con una tendencia creciente (Fig. 1), caracterizada por una función polinómica con un nivel de confianza del 68,63 %. Se evidenció un pico máximo de 317 investigaciones en el año 2024, mientras que en lo que en el 2025 se cuantificaron 132. Predominaron los artículos de investigación con 562 manuscritos que representan el 51 % del total, seguido de los artículos de revisión y los eventos con una representación del 24 % y 14 % respectivamente.

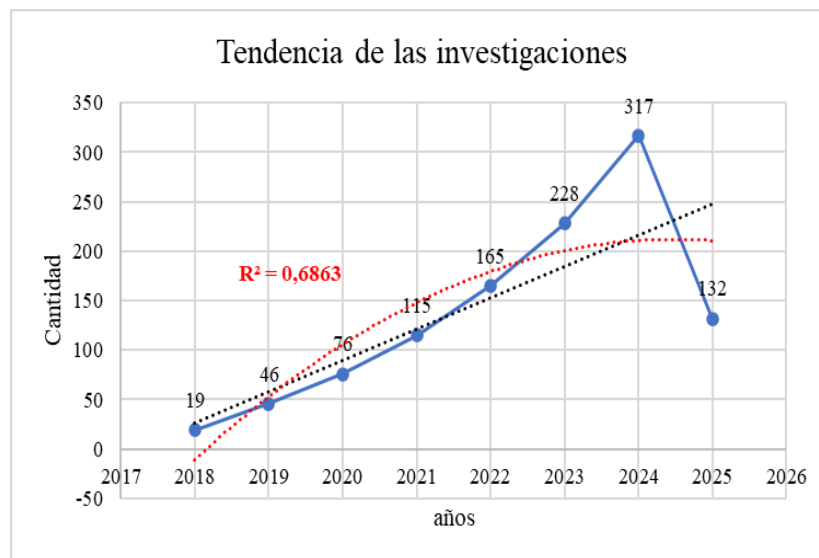


Fig. 1 – Tendencia de las investigaciones.

Fuente. Elaboración propia

Se identificaron investigaciones en 25 áreas del conocimiento, las más representativas fueron las áreas de la ingeniería y las ciencias de la computación con 536 y 518 manuscritos respectivamente. Aunque con menor producción destacan estudios en relacionados con la administración de negocios y las ciencias sociales. Con respecto a la producción por países (Fig. 2), los más productores fueron la India, China e Italia con 145, 113 y 90 manuscritos respectivamente. Por otro lado, al analizar los niveles de introducción de los resultados destacan los países: Estados Unidos, China, Canadá y Rusia, estados punteras en la implementación de

herramientas con especial énfasis en la automatización de procesos en el marco del desarrollo de la industria 4.0.

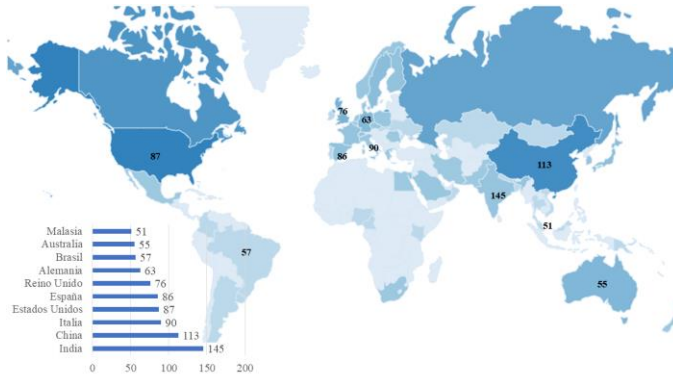


Fig. 2 – Producción científica por país.

Fuente. Elaboración propia

Se realizó un análisis de coocurrencia de palabras clave (Fig. 3), se identificaron dos clústeres que agrupan a 19 ítems. Del análisis clúster se identificaron dos líneas de investigación científica (Tabla 2).

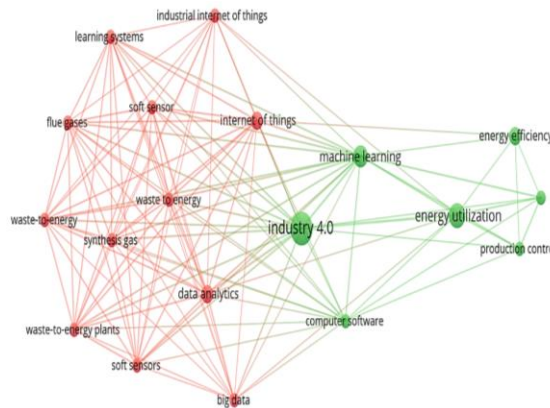


Fig. 3 - Análisis de coocurrencia de palabras clave (n≥2).

Fuente. Elaboración propia

Tabla 2 – Análisis de los clústeres de investigación.

Clúster	Línea
clúster rojo	Optimización inteligente de plantas waste-to-energy (WtE) mediante IoT, big data y aprendizaje automático: hacia un futuro sostenible.

clúster verde	Desarrollo de sistemas inteligentes basados en machine learning (ML) e industrial 4.0 para la optimización del control de producción y la eficiencia energética en entornos industriales, mediante software computacional avanzado que permita el análisis predictivo y la gestión adaptativa del uso de energía.
---------------	---

Fuente. Elaboración propia

En el contexto de la creciente demanda de energías renovables y la urgencia por combatir el cambio climático, las plantas de WtE emergen como una solución clave para gestionar residuos y generar energía limpia (AlQattan et al., 2018). Sin embargo, su eficiencia está limitada por desafíos técnicos, como la variabilidad en la composición de los residuos y las emisiones contaminantes. Investigaciones proponen integrar sistemas de aprendizaje automático para optimizar estos procesos (Lăzăroiu et al., 2022), elementos que minimizan la producción de gases de síntesis y el impacto ambiental de los gases de combustión.

La implementación de estos sistemas inteligentes podría aumentar la eficiencia energética de las plantas WtE entre un 15-20 %, reducir costos operativos y posicionar esta tecnología como una alternativa viable frente a los combustibles fósiles (Guo et al., 2019). Además, al democratizar el acceso a datos precisos mediante big data, se facilitaría la replicabilidad de estos modelos, lo que propicia el avance hacia una transición energética justa e inclusiva.

Las investigaciones coinciden en la creación de softwares de gestión energética industrial que use ML para: predecir demandas de energía en líneas de producción, ajustar automáticamente maquinaria según condiciones operativas, detectar ineficiencias y proponer mejoras (Li et al., 2023). Las líneas de investigación identificadas se relacionan en mayor medida con los ODS 7, 9, 12 y 13. Un resumen de las herramientas identificadas en función de los retos principales se expone a continuación:

- Altos consumos en procesos sensibles y variables: se han implementado sistema ciberfísicos que combinen gemelos digitales, algoritmos supervisados (Random Forest, XGBoost) que analizan datos históricos para predecir picos de demandas o fallos de equipos (Chen & Ishwaran, 2012), el aprendizaje por refuerzo y gestión energética integrada mediante softwares especializados: Python + TensorFlow (Agrawal et al., 2019), o plataformas como Siemens MindSphere (Petrik & Herzwurm, 2019).

- Enfoques avanzados de análisis de datos: *BioEnergy Analytics 4.0* es una plataforma cognitiva de última generación que integra ML avanzado, IoT industrial y modelado bioenergético para optimizar en tiempo real la eficiencia energética en plantas de bioprocesamiento (Djandja & He, 2025).
- Consumos de grandes cantidades de energía en ciclos no siempre optimizados: plataforma de gestión inteligente de energía para bioprocesos (*BioEnergyOpt 4.0*): integración de modelos predictivos y análisis de ciclos para maximizar la eficiencia energética (Shabani et al., 2013).
- Balance preciso entre producción y sostenibilidad: sistema de balance dinámico producción-sostenibilidad (*BioBalance 4.0*) para la industria biotecnológica: plataforma de decisión híbrida que integra análisis del ciclo de vida ambiental (ACV) con control de producción en tiempo real mediante herramientas de Industria 4.0: Núcleo de sostenibilidad digital (EcoCore), motor de optimización inteligente (BioOpt), y sistema de control adaptativo (red neuronal de compensación) (Abdel-azeem et al., 2022).

Los autores declaran los acrónimos BioEnergy Analytics 4.0, BioEnergyOpt 4.0, BioBalance 4.0, EcoCore y BioOpt relacionados con las herramientas identificadas que apoya la creación de futuros nombres comerciales. Del estudio de retos y posibles soluciones se identificaron un conjunto de herramientas informáticas (Fig. 4) que se pueden utilizar en función de resolver problemas relacionados con la eficiencia energética en industrias biotecnológicas en el contexto de la industria 4.0.

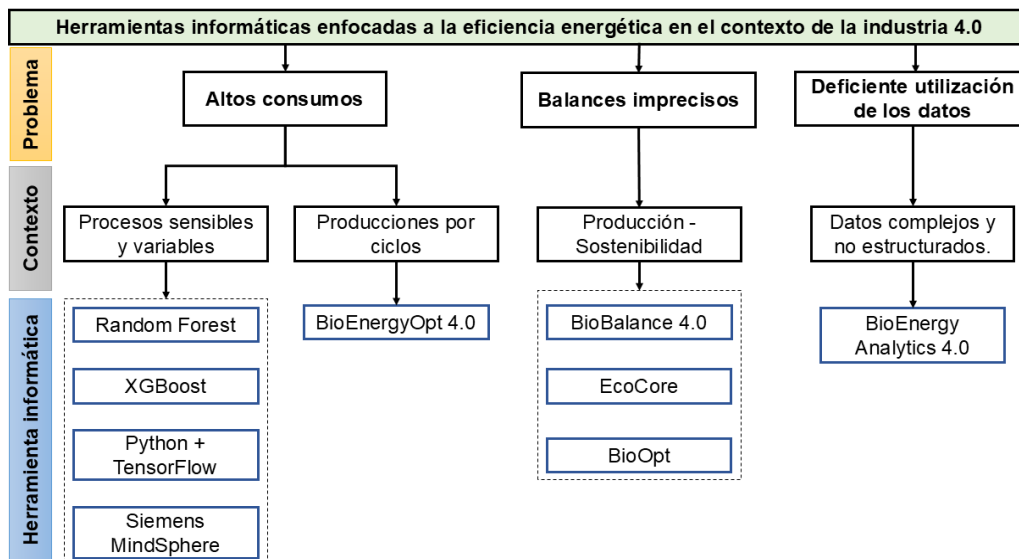


Fig. 4 - Herramientas informáticas enfocadas a la eficiencia energética en industrias biofarmacéuticas.

Fuente. Elaboración propia

Conclusiones

El presente estudio permitió analizar la producción científica relacionada con el uso de herramientas informáticas para la eficiencia energética en biofarmacéuticas dentro del contexto de la Industria 4.0, cumpliendo así con el objetivo propuesto. El análisis bibliométrico evidenció una tendencia creciente y sólida en la investigación del tema, con un pico productivo en 2024, liderada por áreas como la Ingeniería y las Ciencias de la Computación, y con contribuciones significativas de países como India, China e Italia.

Se identificaron dos líneas de investigación principales. La primera se centra en la optimización inteligente de plantas *WtE* mediante la integración de *IoT*, *big data* y aprendizaje automático, y la segunda, de mayor afinidad con el sector biofarmacéutico, aborda el desarrollo de sistemas inteligentes basados en ML e Industria 4.0 para la optimización del control de producción y la eficiencia energética en entornos industriales.

La investigación contribuye al campo al sintetizar y organizar, a partir de un diagrama de afinidad, un conjunto concreto de herramientas informáticas avanzadas que responden a retos específicos del sector, como los altos consumos en procesos sensibles, el manejo de datos complejos y la necesidad de equilibrar producción con sostenibilidad.

Como trabajo futuro, se sugiere la realización de estudios de caso para evaluar la viabilidad y el impacto de la implementación de las herramientas identificadas en instalaciones productivas específicas de la industria biofarmacéutica en Cuba. Además, se recomienda profundizar en el análisis de las barreras técnicas, económicas y de capacitación para la adopción de estas tecnologías en el contexto nacional.

Referencias

- Abdel-Azeem, N.; Samir, O., Et Al. (2022). *Bio-Balance And Its Mechanisms In Interior Design From The Point Of View Of Anatomical Adaptation*. [En Línea]. Journal Of Design Sciences And Applied Arts. 2022, 3(1), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 175-191 P. Disponible En: https://journals.ekb.eg/article_216188_15fdde3ece06ea6de6385ba7adf6bdfe.pdf
- Agrawal, A.; Modi, A., Et Al. *Tensorflow Eager: A Multi-Stage, Python-Embedded Dsl For Machine Learning*. [En Línea]. Proceedings Of Machine Learning And Systems. 2019, 1, [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 178-189 P. Disponible En: https://proceedings.mlsys.org/paper_files/paper/2019/file/B3cd73d353d39e5cf6f6e9ff8d14c87f-paper.pdf
- Alqattan, N.; Acheampong, M., Et Al. *Reviewing The Potential Of Waste-To-Energy (Wte) Technologies For Sustainable Development Goal (Sdg) Numbers Seven And Eleven*. [En Línea]. Renewable Energy Focus. 2018, 27, [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 97-110 P. Disponible En: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.09.005>

Carpio Guerrero, H. E.; Vásquez Carrera, P. J., *Et Al. Impacto De La Adopción De Nuevas Tecnologías En La Eficiencia Energética Y La Sostenibilidad En El Sector Residencial*. [En Línea]. Revista Ingenio Global. 2025, 4(1), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 55-70 P. Disponible En: <https://doi.org/10.62943/Rig.V4n1.2025.159>

Chalhoub, A. H. *The Role Of Artificial Intelligence In Driving Sustainable Innovation In Manufacturing Engineering*. Library Of Progress-Library Science, Information Technology & Computer, 2024, 44 (3), P. 7201.

Chaves, J. D.; Gallego, M. I., *Et Al. Estimation Of The Energy Saving Potentials In Foundry Industries Based On Iso 50001*. [En Línea]. Ieee Latin America Transactions. 2021, 18(12), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 2155-2165 P. Disponible En: <https://doi.org/10.1109/Tla.2020.9400444>

Chen, X., & Ishwaran, H. *Random Forests For Genomic Data Analysis*. [En Línea]. Genomics. 2012, 99(6), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 323-329 P. Disponible En: <https://doi.org/10.1016/J.Ygeno.2012.04.003>

Chen, Y.; Kotamarthy, L., *Et Al. Optimization Of Key Energy And Performance Metrics For Drug Product Manufacturing*. [En Línea]. International Journal Of Pharmaceutics. 2023, 631, [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 122487 P. Disponible En: <https://doi.org/10.1016/J.Ijpharm.2022.122487>

Correa Soto, J. *Instrumento Metodológico Para La Gestión Energética En Los Órganos De Gobierno Local En Cuba*. Tesis De Doctorado. Universidad De Matanzas, 2021.

Durán Romero, G. *España, ¿Sostenible Y Circular?* Economistas, 2024, (185), P. 315-324.

Fernández Gómez, J. *Eficiencia Energética En El Sector Industrial*. Cuadernos Orkestra, 2021, 1(1), P. 1-12.

Gillingham, K.; Newell, R. G., *Et Al. Energy Efficiency Economics And Policy*. [En Línea]. Annu. Rev. Resour. Econ. 2009, 1(1), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 597-620 P. Disponible En: https://www.nber.org/system/files/working_papers/W15031/W15031.pdf

Guo, Z.; Sun, Y., *Et Al. Integration Of Green Energy And Advanced Energy-Efficient Technologies For Municipal Wastewater Treatment Plants*. [En Línea]. International Journal Of Environmental Research And Public Health. 2019, 16(7), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 1282 P. Disponible En: <https://doi.org/10.3390/Ijerph16071282>

Lăzăroiu, G.; Andronie, M., *Et Al. Deep Learning-Assisted Smart Process Planning, Robotic Wireless Sensor Networks, And Geospatial Big Data Management Algorithms In The Internet Of Manufacturing Things*. [En Línea]. Isprs International Journal Of Geo-Information. 2022, 11(5), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 277 P. Disponible En: <https://doi.org/10.3390/Ijgi11050277>

Li, J.; Guo, Y., *Et Al. An Intelligent Energy Management Information System With Machine Learning Algorithms In Oil And Gas Industry*. [En Línea]. Wireless Communications And Mobile Computing. 2023, (1), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 3385453 P. Disponible En: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1155/2023/3385453>

Massó-Bizet, C., & Zapata-Balanqué, J. A. *Propuesta De Empleo De Energía Renovable En El Plan De Acciones De Manejo Integrado Para La Zona Portuaria De La Bahía De Santiago De Cuba*. [En Línea]. Ciencia En Su Pc. 2015, (1), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 59-71 P. Disponible En: <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181338814005.pdf>

Moher, D.; Liberati, A., *Et Al. Preferred Reporting Items For Systematic Reviews And Meta-Analyses: The Prisma Statement*. [En Línea]. International Journal Of Surgery. 2010, 8(5), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 336-341 P. Disponible En: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.02.007>

Morales Baque, G. A.; Toro Tinoco, J. L., *Et Al. Diseño De Un Sistema De Acondicionamiento De Aire Y Ventilación Mecánica Para Un Laboratorio Farmacéutico*. Tesis De Doctorado. Espol. Fimcp, 2021.

Peñalver-Higuera, M. J.; Rodríguez-Alegre, L. R., *Et Al. Ingeniería De Prompts En La Industria 4.0: Optimización Y Automatización Inteligente De Procesos Industriales*. [En Línea]. Ingenium Et Potentia. Revista Electrónica Multidisciplinaria De Ciencias Básicas, Ingeniería Y Arquitectura. 2025, 7(12), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 35-49 P. Disponible En: <https://ve.scielo.org/pdf/ipremcbia/V7n12/2665-0304-ipremcbia-7-12-35.pdf>

Petrik, D., & Herzwurm, G. *Iiot Ecosystem Development Through Boundary Resources: A Siemens Mindsphere Case Study*. Proceedings Of The 2nd Acm Sigsoft International Workshop On Software-Intensive Business: Start-Ups, Platforms, And Ecosystems, 2019.

Pollock, J.; Ho, S. V., *Et Al. Fed-Batch And Perfusion Culture Processes: Economic, Environmental, And Operational Feasibility Under Uncertainty*. [En Línea]. Biotechnology And Bioengineering. 2013, 110(1), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 206-219 P. Disponible En: <https://doi.org/10.1002/bit.24608>

Sánchez-Suárez, Y.; Marqués-León, M., *Et Al. Modelación De Los Flujos De Pacientes De Alto Riesgo Con Covid-19 En Matanzas Con Enfoque Lean*. [En Línea]. Revista Médica Electrónica. 2023, 45(4), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 629-643 P. Disponible En: <Http://Scielo.Sld.Cu/Pdf/Rme/V45n4/1684-1824-Rme-45-04-629.Pdf>

Sarkis, M.; Fyfe, A. T., *Et Al. Towards A Net Zero, Socially Sustainable And Eco-Efficient Biopharma Industry: How Far Are We?* [En Línea]. Current Opinion In Chemical Engineering. 2024, 44, [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 101027 P. Disponible En: <Https://Doi.Org/10.1016/J.Coche.2024.101027>

Shabani, N.; Akhtari, S., *Et Al. Value Chain Optimization Of Forest Biomass For Bioenergy Production: A Review*. [En Línea]. Renewable And Sustainable Energy Reviews. 2013, 23, [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 299-311 P. Disponible En: <Https://Doi.Org/10.1016/J.Rser.2013.03.005>

Sugandha, S.; Choubey, R. R., *Et Al. Role Of Digital Transformation And Technology Adoption In The Efficiency Of The Pharmaceutical Industry*. [En Línea]. European Chemical Bulletin. 2023, 12(5), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 6862-6874 P. Disponible En: <Https://Doi.Org/10.48047/Ecb/2023.12.Si5a.0620>

Tobías Macías, F. F., De Hoyos Vázquez, F. F., *Et Al. Digitalización De Procesos En La Industria 4.0*. [En Línea]. Ricea Revista Iberoamericana De Contaduría, Economía Y Administración. 2024, 13(25), [Consultado El: 25 De Mayo De 2025] 62-86 P. Disponible En: <Https://Mail.Ricea.Org/Mx/Index.Php/Ricea/Article/Download/220/648>

Conflicto de interés

El autor autoriza la distribución y uso de su artículo.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Yasniel Sánchez Suárez, Nelson José Ramírez González

Curación de datos: Darian Samá Muñoz, Gianni David Quesada Martínez

Análisis formal: Nelson José Ramírez González, Arialys Hernández Nariño

Adquisición de fondos: -

Investigación: Yasniel Sánchez Suárez, Darian Samá Muñoz

Metodología: Yasniel Sánchez Suárez, Arialys Hernández Nariño

Administración del proyecto: Yasniel Sánchez Suárez, Arialys Hernández Nariño

Recursos: Nelson José Ramírez González

Software: Arialys Hernández Nariño, Darian Samá Muñoz, Gianni David Quesada Martínez

Supervisión: Yasniel Sánchez Suárez, Arialys Hernández Nariño

Validación: Yasniel Sánchez Suárez, Gianni David Quesada Martínez

Visualización: Arialys Hernández Nariño, Darian Samá Muñoz

Redacción – borrador original: Yasniel Sánchez Suárez, Gianni David Quesada Martínez

Redacción – revisión y edición: Darian Samá Muñoz