

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DECISIÓN MULTICRITERIO EN LA INDUSTRIA

BIBLIOGRAPHIC REVIEW ON ENERGY EFFICIENCY AND MULTI-CRITERIA DECISION IN THE INDUSTRY

Geraldo Cesar Rosario De Oliveira¹, Vania Aparecida Rosario De Oliveira², Fernando De Azevedo Silva³, Victor Orlando Gamarra Rosado⁴, Valério Antonio Pamplona Salomon⁵

gerald.arquivos@gmail.com, oliveira.vania@gmail.com, fernando.azevedo@unesp.br, victor.rosado@unesp.br, valerio.salomon@unesp.br

¹²³⁴⁵ Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Avenida Ariberto Pereira da Cunha 333, 12516-410, Guaratinguetá, Brasil.

Recibido 08/08/2021; Aceptado: 08/09/2021

Resumen: El escenario social y económico actual ha exigido cada vez más a las industrias una visión centrada en el uso responsable de los recursos y la preservación del medio ambiente. Estos factores, sumados a la búsqueda de competitividad y la reducción de los costos operativos, como el desgaste de los equipos por fatiga, favorecieron el incremento de estudios orientados a la eficiencia energética en la industria. En los últimos 5 años se han publicado un número significativo de estudios que combinan los temas de eficiencia energética y decisión multicriterio, contribuyendo a la evolución del conocimiento. Este artículo tiene como objetivo presentar un análisis bibliométrico sobre el tema con el fin de identificar la evolución de este tema, verificando qué trabajos fueron los más citados, los métodos aplicados, qué áreas de la industria fueron objeto de estos estudios, aportes y sugerencias de futuro identificadas.

Palabras-clave: Eficiencia energética; Decisión multicriterio; Análisis bibliométrico; Industria.

Abstract: The current social and economic scenario has increasingly demanded from industries a vision focused on the responsible use of resources and the preservation of the environment. These factors, added to the search for competitiveness and the reduction of operating costs, such as the wear and tear of equipment due to fatigue, favored the increase in studies aimed at energy efficiency in the industry. In the last 5 years, a significant number of studies have been published that combine the topics of energy efficiency and multicriteria decision, contributing to the evolution of knowledge. This article

aims to present a bibliometric analysis on the subject in order to identify the evolution of this topic, verifying which works were the most cited, the methods applied, which areas of the industry were the object of these studies, contributions and future suggestions identified.

Keywords: Energy efficiency; Multicriteria decision; Bibliometric analysis; Industry.

1. Introducción

El consumo de energía es uno de los principales indicadores de desarrollo económico y calidad de vida en una sociedad, los beneficios de la eficiencia energética abarcan muchos aspectos y tienen un gran potencial para impulsar el crecimiento económico (Aneel, 2008; Rasmussen, 2017; Iae, 2019). La búsqueda de prácticas de eficiencia energética y reducción de impactos ambientales son temas emergentes para la industria, son factores cruciales que se suman al desafío de reducir el consumo de recursos, mantener o incrementar las ganancias y la productividad de las organizaciones (Gao et al., 2019; Mawson y Hughes, 2019; Menghiet al., 2019). Para May et al. (2015) la combinación de eficiencia energética y comportamiento sostenible en las organizaciones se ve como un elemento clave para la competitividad global futura. El proceso de toma de decisiones basado en factores relacionados con el tema de la eficiencia energética es complejo, involucrando varios factores que a menudo están en conflicto entre sí, requiriendo el análisis de alternativas y sus consecuencias. Varios estudios en esta área han informado el uso de métodos de decisión multicriterio como herramientas de apoyo para los tomadores de decisiones en las industrias (Li et al., 2020; Baumann et al., 2019). Decisión multicriterio, MCDM (Multi-Criteria Decision-Making), puede definirse como el estudio de métodos y procedimientos que permiten la evaluación de criterios en conflicto y su inclusión en los procesos de toma de decisiones (Sociedad Internacional Sobre Mcdm, 2020). Making es una subdisciplina bien conocida de la Investigación de Operaciones y se ha utilizado ampliamente cuando hay dos o más alternativas que necesitan ser examinadas formalmente (Yazdi et al., 2020). Así, se puede considerar que los principales objetivos de utilizar métodos de decisión multicriterio son la clasificación y selección de alternativas para apoyar la toma de decisiones basadas en formulaciones matemáticas (Li et al., 2020; Graça & Camarinha-Matos, 2016). Estos métodos han sido aplicados en las más diversas áreas, incluyendo problemas en el área energética, tales como selección de plantas, evaluación de proyectos, evaluación y selección de equipos, construcción de indicadores, entre otros (Taylan et al., 2016; Goswami & Mitra, 2020). Este artículo tiene como objetivo presentar un análisis bibliométrico sobre la combinación de la eficiencia energética en la industria y los métodos de decisión multicriterio discutidos en la investigación en los últimos cinco años. Está organizado en introducción, análisis bibliométrico y discusiones finales.

2. Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico es una herramienta eficaz para rastrear el escenario micro o macro sobre un tema determinado, lo que permite a los investigadores identificar

tendencias de investigación, posibles problemas y direcciones futuras (Yu & He, 2020, Zhang & Yuan, 2019). Para Zanghelini (2016), este análisis de un tema dado a través de discusiones pasadas permite una mejor comprensión de las proyecciones presentes y futuras en el área, el estudio bibliométrico es una forma de construir una visión amplia de la producción científica sobre un tema dado utilizando la publicación de análisis. Estadísticas. El número de investigaciones relacionadas con el uso de métodos de decisión multicriterio para apoyar las prácticas de eficiencia energética ha crecido potencialmente en los últimos 5 años. En la búsqueda realizada en la base de datos internacional SCOPUS, se utilizó en los títulos la combinación de las palabras clave: "industry AND energy efficiency AND decision making OR decision aid OR smart decision making" en títulos. Los tipos de documentos seleccionados fueron resúmenes y artículos y el período delimitado entre 2016 y 2020. La búsqueda arrojó un total de 195 artículos que fueron citados alrededor de 1.847 veces en los últimos 5 años, según los datos de la Tabla 1.

Tabla 1 - Total de artículos y citas

Total de artículos	Total de citas
231	1967

La Figura 1 ilustra la distribución de publicaciones y citas en los últimos 5 años, lo que demuestra que el interés por el tema ha aumentado notablemente.



Figura 1 - Número de publicaciones y citas en los últimos cinco años.

El análisis de publicaciones por fuente nos muestra que el tema ha sido estudiado en varias áreas, se identificaron alrededor de 97 fuentes diferentes, entre las cuales las diez que más publicaron en el período analizado fueron: Revista de Producción Más Limpia, Energía, Política Energética, Aplicada Energía, Energías, Eficiencia Energética, Conversión y Gestión de Energía y Revisiones de Energía Renovable y Sostenible como se muestra en la Figura 2.

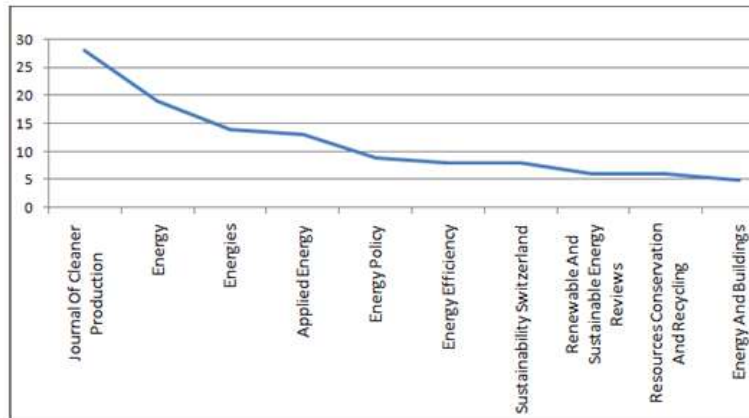


Figura 2 - Fuentes con mayor número de publicaciones.

También se observan los diez autores con mayor número de trabajos publicados y los grupos de clusters de la red representados por los diferentes colores como se muestra en las Figuras 3 y 4.

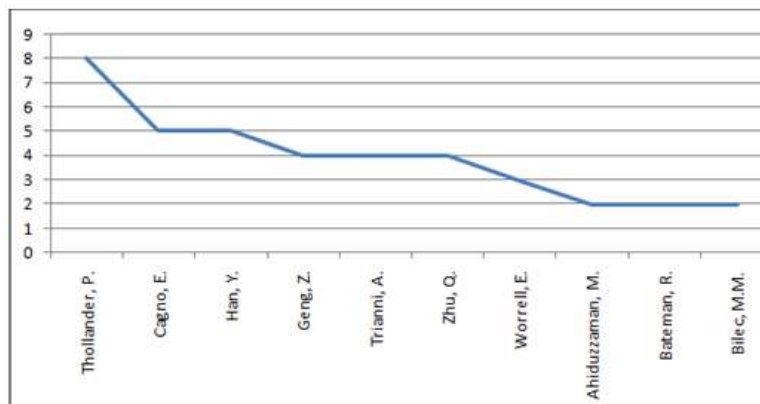


Figura 3 - Diez autores con el mayor número de trabajos publicados.

En el análisis de clusters utilizando el software VOSviewer, se identifican redes de colaboración científica entre algunos grupos de autores, lo que permite una visión integral de las interacciones y posibles intereses comunes de los investigadores del área. En la Figura 4, identificamos dos redes de colaboración entre autores: Q. Zhu e Y. Han (en rojo) y P. Thollander y E. Cagno (verde), estos grupos de autores concentran el mayor número de trabajos y citas.

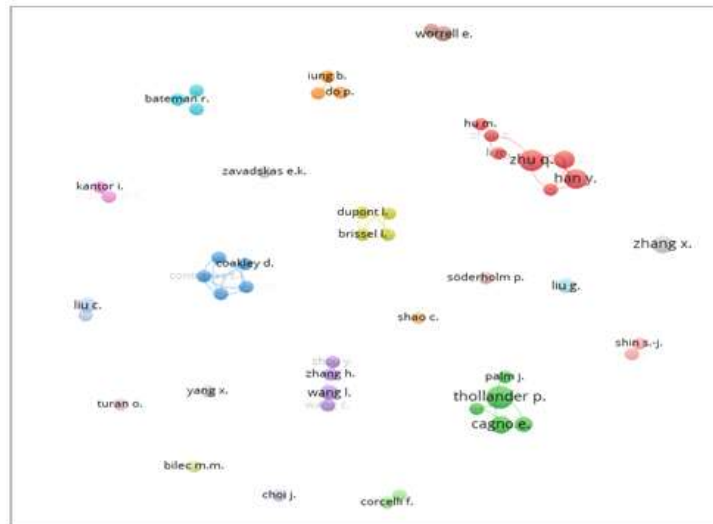


Figura 4 - Clústeres por autores.

Los diez países con mayor número de publicaciones se muestran en la Figura 5: China, Estados Unidos, Reino Unido, Italia, Alemania, Suecia, España, Brasil y Corea del Sur.

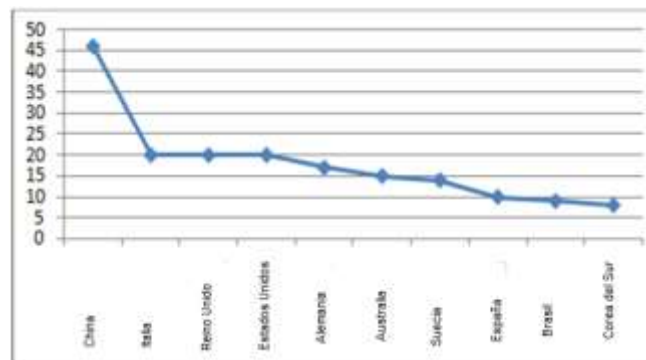


Figura 5 - Diez países con el mayor número de trabajos publicados.

En la Figura 6, la distribución de trabajos por área, con las diez áreas con mayor número de artículos publicados dentro del período especificado: Ingeniería, Energía, Ciencias Ambientales, Negocios, Gestión y Contabilidad, Ciencias Sociales, Informática, Matemáticas, Economía, Econometría y Finanzas e Ingeniería Química.

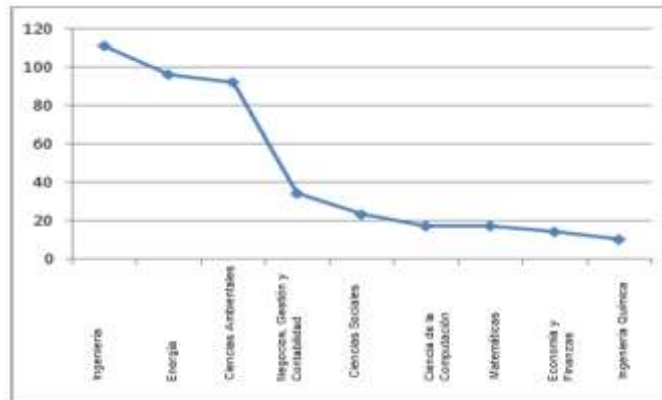


Figura 6 - Las diez áreas con mayor número de obras.

Las figuras 7 y 8 ilustran el análisis de las palabras clave realizado con el fin de identificar la mayor incidencia, los posibles métodos de decisión multicriterio relacionados entre ellos y los posibles términos de protagonismo e interés de los investigadores en este grupo de artículos estudiados. En primer lugar, se observan las palabras clave más utilizadas en los artículos y el número de incidencia de cada uno de ellos. Se destacan las palabras: Eficiencia energética, Toma de decisiones, Análisis envolvente de datos, Sostenibilidad, Gestión energética, Industria, Evaluación del ciclo de vida, Barreras, Energía y proceso de jerarquía analítica como se muestra en la Figura 7.

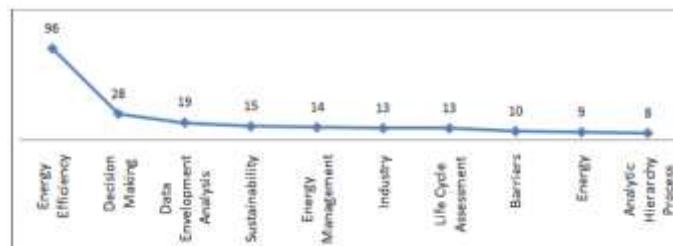


Figura 7: las diez palabras clave más utilizadas.

Luego, el análisis realizado utilizando el software VOSviewer mediante el cual visualizamos los grupos formados entre las palabras clave de como se muestra en la Figura 8. Los métodos DEA y AHP ya demuestran su posible destaque entre los métodos aplicados en estos estudios. Los grupos de diferentes colores también pueden asociarse con tendencias en estudios en esta área y temas destacados como: economía y consumo energético (rojo), industria y barreras (violeta), políticas y cambio climático (naranja).

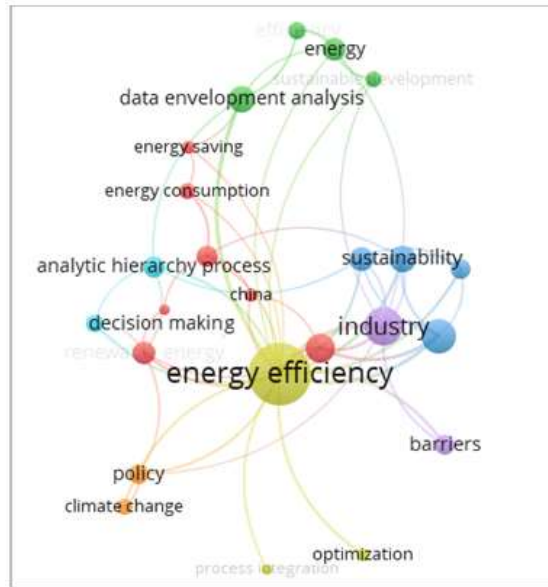


Figura 8 - Vínculos entre palabras clave.

La Tabla 2 contiene información sobre título, autores, año de publicación, fuente y método o análisis aplicado a los 10 artículos más citados. Se observa que la modelación se aplicó a 3 trabajos en los cuales los autores realizaron análisis en la pequeña y mediana industria, en el área automotriz o de insumos (May et al., 2015; Hackbarth & Madlener, 2016; Kadambala .et al., 2017). El método DEA se aplicó en 3 trabajos para resolver problemas en la industria química, construcción y manufactura ligera (Han et al., 2015; Xue et al., 2015; Emrouznejad & Yang 2016). El AHP también fue la elección de otros 2 trabajos referentes a las industrias petroquímica y celulósica (Taylan et al., 2016; Posch et al., 2015). Y dos artículos presentaron revisiones sobre eficiencia energética en la industria civil y la gestión de la energía industrial (Thollander & Palm 2015; Eleftheriadiset al., 2017). Otras técnicas como Fuzzy Logic, TOPIS, Delphi, algoritmo genético también se utilizaron en otros artículos con menor número de citas. En general, las áreas de industrias asociadas a los estudios fueron química, petroquímica, manufactura ligera y pesada, naval, aérea, construcción civil, suministros, entre otras.

Tabla 2 - Diez artículos más citados.

Autores	Año	Fuente	Citas	Método
May, G., Barletta, I., Stahl, B., Taisch, M.	2015	Applied Energy	113	Modelado Numérico
Han, Y., Geng, Z., Zhu, Q., Qu, Y.	2015	Energy	78	DEA
Eleftheriadis, S., Mumovic, D., Greening, P.	2017	Renewable and Sustainable Energy Reviews	55	Revisión
Hackbarth, A., Madlener, R.	2016	Transportation Research Part A: Policy and Practice	55	Modelado (MNL e LCM)
Xue, X., Wu, H., Zhang, X., Dai, J., Su, C.	2015	Journal of Cleaner Production	48	DEA e MPIs
Emrouznejad, A., Yang, G.-L.	2016	Energy Policy	44	DEA, RAM e DDF
Taylan, O., Kaya, D., Demirbas, A.	2016	Energy Conversion and Management	43	Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS
Posch, A., Brudermann, T., Braschel, N., Gabriel, M.	2015	Journal of Cleaner Production	42	Análisis SWOT/AHP
Kadambala, D.K., Subramanian, N., Tiwari, M.K., Abdulrahman, M., Liu, C.-	2017	International Journal of Production Economics	40	Modelado (MOMILP)
Thollander, P., Palm, J.	2015	Energies	35	Revisión

3. Discusiones finales

A través de este análisis bibliométrico, se presentó una visión general de publicaciones relacionadas con la eficiencia energética y los métodos de decisión multicriterio aplicados a los problemas de la industria. Se observó que el uso de estos métodos como herramientas de apoyo a la toma de decisiones en áreas relacionadas con la eficiencia energética en la industria se ha incrementado significativamente en los últimos cinco años. Se observa que Brasil se encuentra entre los 10 países que más han publicado sobre el tema, un escenario positivo de desarrollos científicos y tecnológicos relacionados con el tema. También se identificaron algunas tendencias de investigación y términos de interés emergentes en estas áreas en la industria, tales como: barreras a la implementación de programas de ahorro y consumo de energía, sustentabilidad, cambio climático, entre otros. En cuanto a los métodos y análisis aplicados a los 10 artículos más citados, se utilizaron técnicas de modelado, lógica difusa y métodos DEA, AHP, TOPSIS, entre otros. Las investigaciones futuras pueden asociar o otros métodos como ANP, MACBETH, DEMATEL, MAVT, FITradeoff y contribuir a la expansión del conocimiento en el área. Los análisis referentes a la combinación de temas sobre el impacto de la gestión de activos y el mantenimiento industrial, las políticas para el uso racional de los recursos energéticos y la sostenibilidad, el desgaste de los equipos también pueden enriquecer el trabajo futuro en el área.

4. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES).

5. Referencias bibliográficas

AGENCIA NACIONAL DE ENERGÍA (ANEEL). Atlas de la Energía en Brasil y en el Mundo, 2008. [Fecha de consulta: 25 Abril 2020].

Disponible en:

http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf.

AL-GHAMDI, Sami G.; BILEC, Melissa M. Life-cycle thinking and the LEED rating system: global perspective on building energy use and environmental impacts. *Environmental Science & Technology*, 2015, vol. 49, no 7, p. 4048-4056.

BÁNYAI, Tamás. Real-time decision making in first mile and last mile logistics: How smart scheduling affects energy efficiency of hyperconnected supply chain solutions. *Energies*, 2018, vol. 11, no 7, p. 1833.

BAUMANN, Manuel, et al. A review of multi-criteria decision making approaches for evaluating energy storage systems for grid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 107, p. 516-534.

BEŞİKÇİ, E. Bal, et al. An application of fuzzy-AHP to ship operational energy efficiency measures. *Ocean Engineering*, 2016, vol. 121, p. 392-402.

CENTRO DE ESTUDIOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, CWTS. VOSviewer Visualización de paisajes científicos. Versión: 1.6.5, Leiden, SH, 2017. [Fecha de consulta: 25 Abril 2020].

Disponible en: <http://www.vosviewer.com/download>.

ELEFTHERIADIS, Stathis; MUMOVIC, Dejan; GREENING, Paul. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 67, p. 811-825.

EMROUZNEJAD, Ali; YANG, Guo-liang. CO₂ emissions reduction of Chinese light manufacturing industries: A novel RAM-based global Malmquist–Luenberger productivity index. *Energy Policy*, 2016, vol. 96, p. 397-410.

GAO, Mengdi, et al. A review on energy consumption, energy efficiency and energy saving of metal forming processes from different hierarchies. *Processes*, 2019, vol. 7, no 6, p. 357.

GOSWAMI, S.; MITRA, S. Selecting the best mobile model by applying AHP-COPRAS and AHP-ARAS decision making methodology. *International Journal of Data and Network Science*, 2020, vol. 4, no 1, p. 27-42.

GRAÇA, Paula; CAMARINHA-MATOS, Luís M. Performance indicators for collaborative business ecosystems—Literature review and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, vol. 116, p. 237-255.

HACKBARTH, André; MADLENER, Reinhard. Willingness-to-pay for alternative fuel vehicle characteristics: A stated choice study for Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, vol. 85, p. 89-111.

HAN, Yong-Ming; GENG, Zhi-Qiang; ZHU, Qun-Xiong. Energy optimization and prediction of complex petrochemical industries using an improved artificial neural network approach integrating data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, 2016, vol. 124, p. 73-83.

HAN, Yongming, et al. Energy efficiency analysis based on DEA integrated ISM: A case study for Chinese ethylene industries. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2015, vol. 45, p. 80-89.

HAN, Yongming, et al. Energy efficiency analysis method based on fuzzy DEA cross-model for ethylene production systems in chemical industry. *Energy*, 2015, vol. 83, p. 685-695.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy Efficiency, 2019. [Fecha de consulta: 25 Abril 2020].

Disponible en: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>

INTERNATIONAL SOCIETY ON MCDM, Mission of the society. [Fecha de consulta: 25 Abril 2020].

Disponible en: <http://www.mcdmsociety.org/content/mission-society>

YAZDI, Mohammad, et al. Improved DEMATEL methodology for effective safety management decision-making. *Safety science*, 2020, vol. 127, p. 104705.

YU, Dejian; HE, Xiaorong. A bibliometric study for DEA applied to energy efficiency: Trends and future challenges. *Applied Energy*, 2020, vol. 268, p. 115048.

KADAMBALA, Dinesh K., et al. Closed loop supply chain networks: Designs for energy and time value efficiency. *International Journal of Production Economics*, 2017, vol. 183, p. 382-393.

KOSTEVŠEK, Anja, et al. Sustainability assessment of the Locally Integrated Energy Sectors for a Slovenian municipality. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 88, p. 83-89.

LI, Tao; LI, Ang; GUO, Xiaopeng. The sustainable development-oriented development and utilization of renewable energy industry — A comprehensive analysis of MCDM methods. *Energy*, 2020, vol. 212, p. 118694.

MARDANI, Abbas, et al. Using fuzzy multiple criteria decision making approaches for evaluating energy saving technologies and solutions in five star hotels: A new hierarchical framework. *Energy*, 2016, vol. 117, p. 131-148.

MAWSON, Victoria Jayne; HUGHES, Ben Richard. The development of modelling tools to improve energy efficiency in manufacturing processes and systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 2019, vol. 51, p. 95-105.

MAY, Gökan, et al. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. *Applied Energy*, 2015, vol. 149, p. 46-61.

MENGGI, Roberto, et al. Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 240, p. 118276.

POSCH, Alfred, et al. Strategic energy management in energy-intensive enterprises: a quantitative analysis of relevant factors in the Austrian paper and pulp industry. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 90, p. 291-299.

POULSEN, René Taudal; JOHNSON, Hannes. The logic of business vs. the logic of energy management practice: understanding the choices and effects of energy

consumption monitoring systems in shipping companies. *Journal of Cleaner Production*, 2016, vol. 112, p. 3785-3797.

RASMUSSEN, Josefine. The additional benefits of energy efficiency investments—a systematic literature review and a framework for categorisation. *Energy Efficiency*, 2017, vol. 10, no 6, p. 1401-1418.

SHIN, Seung-Jun; WOO, Jungyub; RACHURI, Sudarsan. Energy efficiency of milling machining: Component modeling and online optimization of cutting parameters. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 161, p. 12-29.

TAYLAN, Osman; KAYA, Durmus; DEMIRBAS, Ayhan. An integrated multi attribute decision model for energy efficiency processes in petrochemical industry applying fuzzy set theory. *Energy conversion and management*, 2016, vol. 117, p. 501-512.

THOLLANDER, Patrik; PALM, Jenny. Industrial energy management decision making for improved energy efficiency—Strategic system perspectives and situated action in combination. *Energies*, 2015, vol. 8, no 6, p. 5694-5703.

WAN, Jiafu, et al. Context-aware cloud robotics for material handling in cognitive industrial Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, vol. 5, no 4, p. 2272-2281.

XUE, Xiaolong, et al. Measuring energy consumption efficiency of the construction industry: the case of China. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 107, p. 509-515.

ZANGHELINI, Guilherme M., et al. A bibliometric overview of Brazilian LCA research. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, vol. 21, no 12, p. 1759-1775.

ZHANG, Wenjie; YUAN, Hongping. A bibliometric analysis of energy performance contracting research from 2008 to 2018. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no 13, p. 3548.