

Future Trends of Building Energy Management Systems: A Scientific Mapping Approach

Eliseo Zarate-Perez, PhDc, Industrial Technologies ^{1, 2}, and Cesar Santos-Mejia, PhD, Electrical engineer³

¹Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Peru, ezarate9@alumno.uned.es

²Universidad Privada del Norte (UPN), Peru, eliseo.zarate@upn.edu.pe

³Universidad Nacional del Callao (UNAC), Peru, casantosm@unac.edu.pe

Abstract– This review aimed to establish a scientific map to identify future trends for the application of building energy management systems (BEMSs) in energy control. The Scopus database was used to collect data that were used for analyzing the bibliometric reviews, whereas SciMAT was used to conduct the complete bibliometric process, from data processing to analysis. The results indicate that the most challenging issue of using BEMSs is to maximize energy efficiency while minimizing losses and energy consumption. This has been adequately addressed with the concept of the Internet of Things (IoT). However, the trend points to the thematic concept of the Internet of Energy (IoE) in energy monitoring and control in buildings via two-way communication between the smart grid and BEMSs. Therefore, this review highlights IoT- and IoE-based energy management as key technologies to support the advanced implementation of BEMSs in the future.

Keywords– BEMS, energy management, energy in buildings, internet of things, bibliometric analysis.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Tendencias Futuras de los Sistemas de Gestión de Energía de Edificios: Un Enfoque de Mapeo Científico

Eliseo Zarate-Perez, PhDc, Industrial Technologies^{1,2}, and Cesar Santos-Mejia, PhD, Electrical engineer³

¹Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Peru, ezarate9@alumno.uned.es

²Universidad Privada del Norte (UPN), Peru, eliseo.zarate@upn.edu.pe

³Universidad Nacional del Callao (UNAC), Peru, casantosm@unac.edu.pe

Resumen– El objetivo de este trabajo de revisión fue establecer un mapa científico de la identificación de las tendencias futuras de la aplicación de los sistemas de gestión de energía de edificios (BEMS) en el control energético. Para ello, se utilizó la base de datos Scopus para la recolección de documentos que se emplearon en el análisis del trabajo de revisión bibliométrica. En consecuencia, se empleó el SciMAT para realizar el proceso bibliométrico completo, desde el procesamiento de datos hasta el análisis. Los resultados muestran que los temas más desafiantes del BEMS es maximizar la eficiencia energética, minimizando las pérdidas y el consumo de energía. Ello se ha abordado adecuadamente con el concepto del internet de las cosas (IoT). No obstante, la tendencia apunta al concepto temático del Internet of Energy (IoE) en el monitoreo y control energético en edificios a través de la comunicación bidireccional entre la red inteligente y BEMS. Por lo tanto, esta revisión destaca la gestión energética basada en IoT y IoE, como tecnologías clave para coadyuvar a la futura implementación avanzada de los BEMS.

Palabras clave– BEMS, gestión de energía, energía en edificios, internet de las cosas, análisis bibliométrico.

I. INTRODUCCIÓN

El uso exclusivo de combustibles fósiles genera un impacto ambiental severo, especialmente en lo que respecta a la energía utilizada para la generación de electricidad. El consumo de energía en el sector residencial y comercial ha sufrido un incremento considerable, y se considera que los edificios son responsables del 20,1 % del consumo mundial de energía, cifra que se estima que aumentará un 1,5 % al año hasta el 2040 [1]. Esta situación se agrava por la disminución de los recursos fósiles y el aumento de gases de efecto invernadero.

Para afrontar este problema, se han creado diferentes mecanismos que contribuyen a la mitigación de la demanda energética, con base en la optimización y eficiencia de los recursos energéticos, y la eficiencia energética se ha convertido en un activo importante en el mercado de la electricidad. Junto con las tecnologías de redes inteligentes, se han desplegado fuentes de energía renovable y se están mejorando los sistemas de generación en los edificios para mejorar la eficiencia del consumo total de energía y la integración de energías renovables [2].

Sin embargo, la complejidad de los sistemas renovables ha aumentado debido a la integración de diferentes elementos locales de generación, distribución, consumo y almacenamiento de energía. Por lo tanto, la gestión energética se considera un problema de optimización [2]. Para abordar esta necesidad, se han creado sistemas de gestión de energía en los edificios (BEMS, por sus siglas en inglés) para monitorear y controlar las necesidades energéticas [3].

Los BEMS se definen como sistemas integrados de gestión de energía y automatización de edificios que utilizan tecnologías inteligentes de comunicación digital e interoperables [5]. Estos sistemas se utilizan para impulsar un enfoque holístico de los controles energéticos para garantizar una optimización operativa adaptativa. Involucran sensores y actuadores individuales hasta la interfaz de los usuarios, y han ganado interés por sus estrategias de control para garantizar la reducción de los costos de energía de edificios y mejorar la eficiencia y estabilidad energética de la red [6].

Se han realizado diferentes estudios de revisión sobre BEMS. Por ejemplo, en [7] se investigan diferentes estrategias de gestión en edificios residenciales y no residenciales, en [8] se realiza un estudio de revisión de las tecnologías disponibles, en especial la comunicación por línea eléctrica (PLC, por sus siglas en inglés) para la comunicación BEMS, en [9] se realiza un estudio de revisión que trata sobre los efectos de ahorro de energía relacionados con BEMS y en [10] se enfatizan los principales desafíos para la implementación a gran escala de los BEMS.

Sin embargo, en los trabajos identificados no se observan investigaciones de revisión con un enfoque bibliométrico que considere el volumen de artículos de investigación en este campo. Además, se requiere un análisis exhaustivo de los avances tecnológicos de los BEMS para evaluar su desempeño en la gestión de energía, considerando sus principales fortalezas y puntos críticos. Los análisis bibliométricos ofrecen una visión imparcial del crecimiento y la extensión del conocimiento científico en un campo de investigación en particular [11]. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de revisión es establecer un mapa científico que identifique las tendencias futuras en la aplicación de los BEMS en el control energético de edificios.

II. ENFOQUE METODOLÓGICO

A. Fuentes y del método de búsqueda

En primer lugar, se utilizó la base de datos Scopus para recolectar los documentos utilizados en el análisis del trabajo de revisión, en línea con el objetivo planteado. Scopus proporciona una base de datos completa y selecta de citas y resúmenes de literatura académica vinculada a una amplia gama de disciplinas, seleccionada por expertos [12], [13], lo que resulta muy relevante para el tema abordado. Por lo tanto, se empleó la siguiente ecuación o secuencia de búsqueda que utiliza operadores lógicos para identificar todos los documentos posibles relacionados con el tema: TITLE ("Building Energy Management System*" OR "BEMS").

B. Criterios de selección de los estudios

Para la selección de los estudios, se identificaron aquellos documentos que contuvieran los términos de búsqueda en el título del documento. Además, se consideraron los límites de búsqueda desde el año 2000 hasta agosto de 2022, con el fin de identificar artículos originales de conferencias y revistas científicas. Asimismo, se seleccionaron los documentos relacionados con las áreas de ingeniería, informática, energía, matemáticas, ciencias ambientales, ciencias de los materiales, ciencias de la decisión y disciplinas multidisciplinares.

C. Análisis de los datos recolectados

El procedimiento para encontrar los resultados a partir del análisis con el software de análisis de mapeo científico (SciMAT) se muestra en la Figura 1. Se utilizó el SciMAT en el análisis bibliométrico para llevar a cabo el proceso completo, desde el procesamiento de datos hasta el análisis [14]. En el preprocesamiento, se agruparon las palabras que representan el mismo concepto o los mismos términos con diferencias de letra o caracteres complementarios. Además, se excluyeron algunos términos que no se relacionan con el tema estudiado.

Las redes de extracción se formaron en diagramas bidimensionales basados en la coocurrencia de palabras clave [16]. La similitud de términos o temas se calculó utilizando el índice de equivalencia para identificar la fuerza de unión entre los grupos formados, como se muestra en la Figura 2. En este sentido, se utilizó el algoritmo de centro simple para la agrupación de temas [17]. En resumen, el diagrama se compone de cuatro cuadrantes, donde el eje "y" representa la densidad y el eje "x" representa la centralidad de los grupos [18].

La centralidad mide el grado de interacción de una red con otras redes temáticas mediante la coocurrencia entre temas, lo que muestra la fuerza de los vínculos externos. Está definida por la Ecuación (1), donde u es un elemento (palabra clave) perteneciente al tema y v es un elemento (palabra clave) perteneciente a otros temas.

$$c = 10 \sum e_{uv}; \quad (1)$$

De igual manera, la densidad mide la fortaleza interna de la red temática a través de la relación entre las palabras clave

relacionadas generadas por la red temática, y está definida por la Ecuación (2).

$$d = 100(\sum e_{eij} / n). \quad (2)$$

Donde i y j son los elementos (palabras clave) pertenecientes al tema; y n es el número de elementos (palabras clave) en el tema.

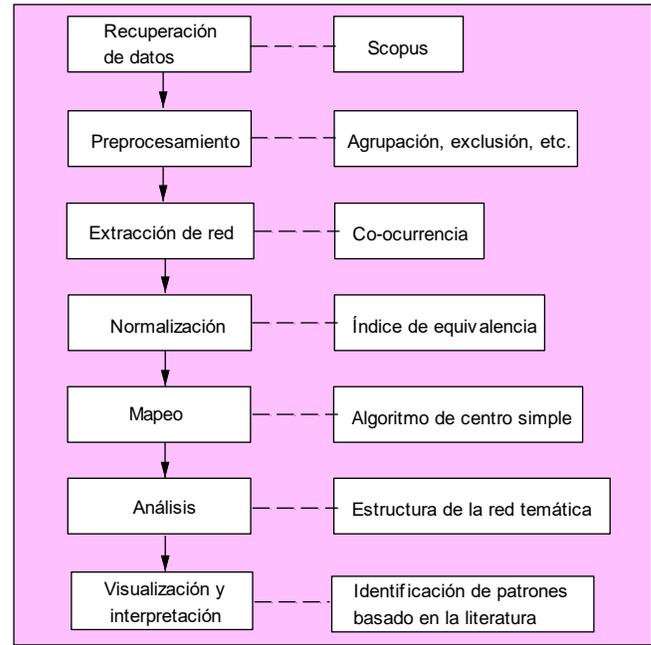


Fig. 1 Secuencia metodológica del mapeo científico [15].

En resumen, la identificación y agrupamiento de los temas se pueden clasificar en cuatro grupos relacionados con cada uno de los cuadrantes del diagrama bidimensional, como se muestra en la Fig. 2. i) Los temas motores se ubican en el primer cuadrante (Q1) y presentan alta centralidad y densidad. Estos temas se consideran importantes para el campo de investigación debido a su alto nivel de desarrollo. ii) Los temas básicos y transversales se ubican en el segundo cuadrante (Q2) y se caracterizan por tener alta centralidad, pero bajo desarrollo. Estos temas tienden a convertirse en temas motores en el futuro debido a su alta centralidad.

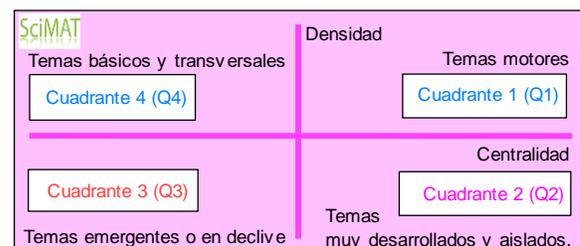


Fig. 2 Mapa estratégico [15].

iii) Los temas emergentes o en declive se muestran en el tercer cuadrante (Q3) y se caracterizan por su baja centralidad y densidad. Es necesario realizar un análisis cualitativo para

determinar si están emergiendo o en declive. iv) Finalmente, los temas muy desarrollados y aislados se ubican en el cuarto cuadrante (Q4) y se caracterizan por su baja centralidad y alto desarrollo. Estos temas han dejado de ser importantes debido a un nuevo concepto o tecnología que los reemplaza [19].

III. RESULTADOS

A. Desempeño del campo

La Figura 3 muestra la tendencia de los aportes de investigación en BEMS desde 2000 hasta agosto de 2022. De los documentos seleccionados, el 60% son comunicaciones en congresos, mientras que el restante corresponde a artículos originales de revistas.

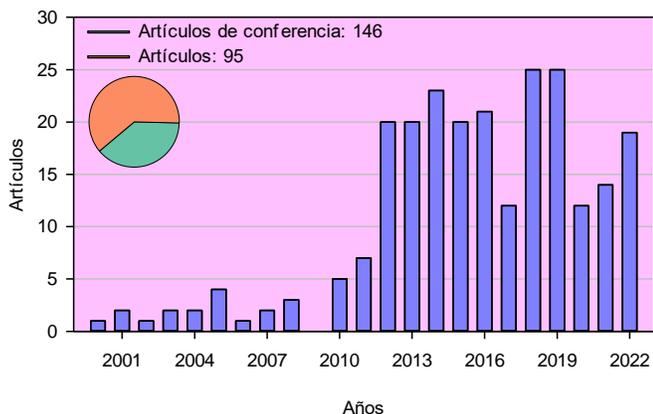


Fig. 3 Publicación de documentos por años.

B. Mapa estratégico y red temática para 2000 - 2015

En la Figura 4(a) se muestran dos grupos temáticos principales que corresponden a las redes inalámbricas de sensores (WSN) y a los edificios de oficinas. Ambos grupos se ubican en el Q1, lo que indica su importancia debido a su alta centralidad y densidad. WSN es una infraestructura de comunicación compuesta por receptores, repetidores y nodos de sensores inalámbricos distribuidos, utilizados para recopilar datos de los nodos sensores y transmitirlos a un centro de datos [20]. En aplicaciones para edificios, las WSN se utilizan principalmente en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico interior [21]. Por otro lado, los edificios de oficinas representan un desafío debido a la complejidad de sus características tipológicas, arquitectónicas y técnicas para alcanzar el estándar de edificio de energía cero o neto cero [22].

En la Figura 4(b) se muestra la red temática del clúster de sensores de redes inalámbricas, relacionada con los temas de banda ISM de 2,4 GHz, método de elementos de contorno, conocimiento del contexto, sistemas físicos de energía cibernética, sistemas integrados, red inalámbrica heterogénea, gestión de energía en el hogar, comunicación industrial, internet de las cosas (IoT) y control de iluminación. De manera similar, la Figura 4(c) muestra la red temática para edificios de oficinas, relacionada con los temas de método de

análisis, sistema de gestión de edificio, vector de máquina de soporte, control de reserva terciario y control de confort visual.

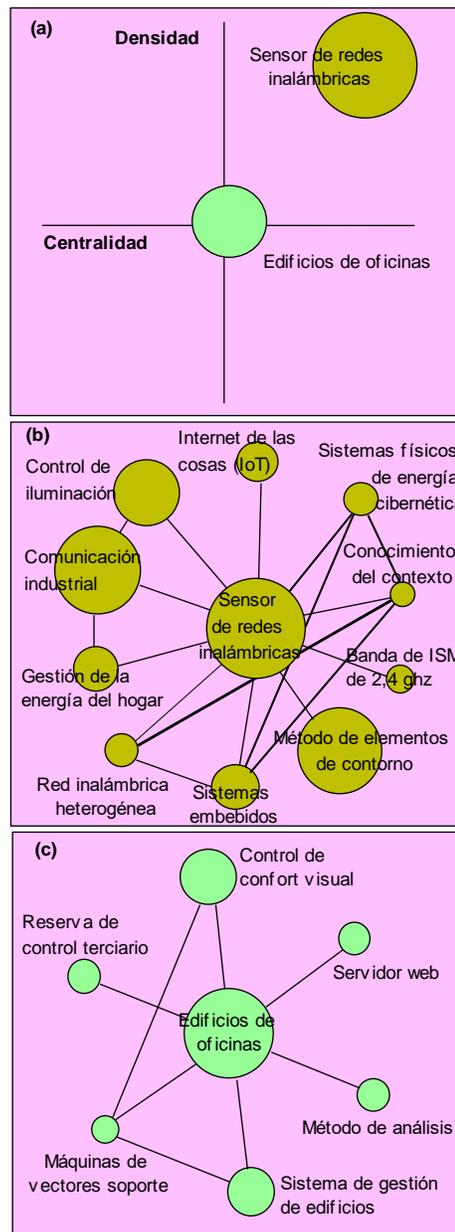


Fig. 4 a) Mapa estratégico para 2000 – 2015. b) Red temática de sensor de redes inalámbricas. c) Red temática para edificios de oficinas.

La red temática identificada sugiere que BEMS es una técnica importante para monitorear y controlar el consumo de energía en edificios [23]. Los parámetros más significativos en el monitoreo están relacionados con el control climático y la influencia de los ocupantes.

La seguridad energética y el uso de energía son los problemas más importantes para el desarrollo económico sostenible [24]. Sin embargo, maximizar la eficiencia energética y reducir el consumo y su efecto sobre el cambio climático son los desafíos más importantes en BEMS [3]. Se

han propuesto nuevos sistemas iterativos de IoT para abordar estos desafíos y lograr el objetivo de energía cero en BEMS de edificios [25]. IoT se relaciona con la idea de conectar dispositivos a Internet. Sin embargo, en la literatura se encuentra el término tecnológico de Internet of Energy (IoE), que se refiere a la actualización y automatización de infraestructuras eléctricas para productores y consumidores de energía [4].

C. Mapa estratégico y red temática para 2016 – 2022.

La Fig. 5 (a) muestra el mapa estratégico para el periodo 2016-2022. En ella se pueden observar tres grupos importantes para este periodo, relacionados con sistemas fotovoltaicos en la Fig. 5 (b), Internet de las cosas (IoT) en la Fig. 5 (c) y el método del elemento de contorno en la Fig. 5 (d). Los dos primeros grupos (b y c) son importantes para el campo de investigación, ya que se posicionan en el Q1 del mapa estratégico, mientras que el último (d) se considera un tema en declive debido a su baja densidad y centralidad.

Los documentos identificados muestran que se pueden emplear diferentes métodos para modernizar los edificios existentes con el objetivo de ahorrar energía, como mejoras en los sistemas de refrigeración y calefacción [26] y la reducción del consumo energético seleccionando electrodomésticos eficientes [27]. Otro conjunto de estudios se enfocó en el confort térmico y los comportamientos de los ocupantes en la conservación de energía del edificio [28]. Es por ello que se han propuesto diferentes sistemas autónomos de gestión de energía. Por ejemplo, Parque et al. (2011) utilizaron un sistema de gestión de energía de edificios de red inteligente para minimizar el consumo de energía, los costos y las emisiones de CO2 del edificio [29].

La Fig. 5 (c) muestra que los sistemas fotovoltaicos conforman una red temática con método formal, vehículo de pila de combustible, administración de energía en el hogar, edificios de oficinas, enfoque probabilístico y utilización de baterías. Los sistemas de detección inalámbricos basados en Internet de las cosas (IoT) se están utilizando con mayor frecuencia en edificios inteligentes para mejorar el consumo de energía y su impacto ambiental [30].

Básicamente, como un edificio es un motor termodinámico con una entrada y salida de recursos energéticos, el uso de sensores con IoT se convierte en una buena opción. En tal sentido, IoT se relaciona con sistemas de gestión de edificios, edificios educativos, sistemas embebidos, nodo de energía limitada, recursos energéticos, estructura, red inalámbrica heterogénea, protocolo de enrutamiento, control de confort visual, servidor web y redes de sensores inalámbricos, como se muestra en la Fig. 5 (b).

El método de los elementos de contorno se emplea como una técnica numérica alternativa porque solo requiere discretización superficial. Esta característica lo define como un método eficiente en el tratamiento de problemas infinitos y semi-infinitos que se presentan con frecuencia en el campo geo-ambiental y bioelectromagnético [31].

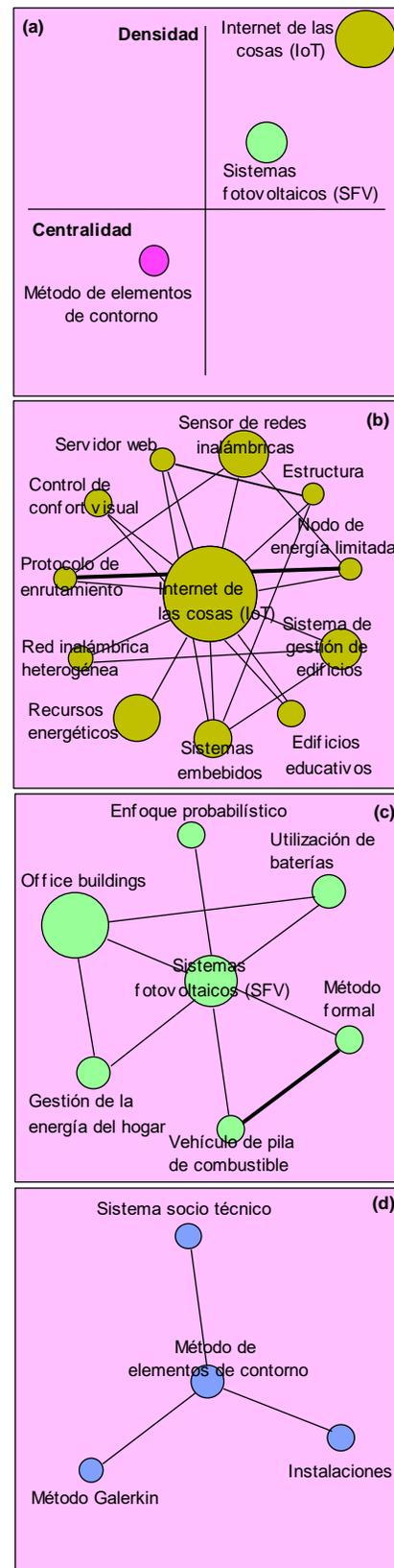


Fig. 5 a) Mapa estratégico para 2016 – 2022. b) Red temática de internet de las cosas (IoT). c) Red temática de sistemas fotovoltaicos. d) Red temática de métodos de elementos de contorno.

La seguridad energética y la utilización eficiente de la energía son dos de los principales desafíos del desarrollo económico sostenible [24]. En este sentido, maximizar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía para mitigar el cambio climático se convierten en temas críticos en el campo de los BEMS [3].

Para abordar estos desafíos, se han propuesto sistemas de IoT iterativos con el objetivo de lograr edificios de energía cero y BEMS más eficientes [25]. El término tecnológico Internet of Energy (IoE) se refiere a la automatización y modernización de infraestructuras eléctricas para productores y consumidores de energía [4]. Esta tecnología permite producir energía de manera más eficiente y limpia, generando menos desperdicio.

La tecnología IoT es fundamental para la creación de sistemas de energía distribuida que conforman IoE. De hecho, el concepto de IoE se utiliza para gestionar, monitorear y controlar la utilización de energía de un edificio a través de una comunicación bidireccional entre la red inteligente y los sistemas BEMS. En resumen, el IoE es el resultado de la integración de IoT y una variedad de sistemas de energía.

IV. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo de revisión fue establecer un mapa científico de las tendencias futuras en la aplicación de los sistemas de gestión de energía de edificios (BEMS) para el control energético. Los resultados muestran cinco áreas temáticas identificadas en dos períodos evaluados. En ellos, las redes inalámbricas de sensores (WSN) y los edificios de oficinas se consideran temas clave en el campo de investigación para el periodo 2000-2015, mientras que los sistemas fotovoltaicos e internet de las cosas (IoT) se identifican como los temas conductores para el periodo 2016-2022.

Los sistemas fotovoltaicos se relacionan con temas como método formal, vehículo de pila de combustible, administración de energía en el hogar, edificios de oficinas, enfoques probabilísticos y utilización de baterías. Por su parte, internet de las cosas (IoT) se relaciona con temas como el sistema de gestión de edificios, edificios educativos, sistemas embebidos, nodos de energía limitada, recursos de energía, estructuras, red inalámbrica heterogénea, protocolo de enrutamiento, control de confort visual, servidor web y redes de sensores inalámbricos.

La revisión identifica que la seguridad energética se ha convertido en una cuestión importante para el desarrollo económico sostenible. No obstante, maximizar la eficiencia energética, minimizando las pérdidas y el consumo de energía, sigue siendo el desafío más importante para BEMS. Es por ello por lo que el control energético en los edificios ha adoptado el concepto de internet de las cosas (IoT) para su implementación.

El IoT se muestra como un tema clave en el mapa estratégico del análisis bibliométrico. Sin embargo, la tendencia apunta hacia el concepto temático del Internet of Energy (IoE) para el monitoreo y control energético en los

edificios, a través de la comunicación bidireccional entre la red inteligente y BEMS.

Por lo tanto, esta revisión destaca la gestión energética de BEMS basados en IoT e IoE, como tecnologías clave para avanzar en su implementación.

No obstante, la optimización y la eficiencia energética de los edificios, las condiciones climáticas específicas, los sistemas de almacenamiento de energía, la interfaz electrónica no lineal y la calidad de la energía son problemas importantes que considerar en la implementación de las tecnologías BEMS basadas en IoE.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo en parte de la Universidad Privada del Norte (UPN) para el presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] M. Jamil and S. Mittal, "Building Energy Management System: A Review," *2017 14th IEEE India Counc. Int. Conf. INDICON 2017*, Oct. 2018, doi: 10.1109/INDICON.2017.8488004.
- [2] P. Stluka, D. Godbole, and T. Samad, "Energy management for buildings and microgrids," *Proc. IEEE Conf. Decis. Control*, pp. 5150–5157, 2011, doi: 10.1109/CDC.2011.6161051.
- [3] E. Zarate-Perez and R. Sebastián, "Autonomy evaluation model for a photovoltaic residential microgrid with a battery storage system," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 653–664, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.07.085.
- [4] M. A. Hannan *et al.*, "A review of internet of energy based building energy management systems: Issues and recommendations," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38997–39014, Jul. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2852811.
- [5] T. Yang, D. Clements-Croome, and M. Marson, "Building Energy Management Systems," *Ref. Modul. Earth Syst. Environ. Sci.*, Jan. 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-90386-8.00025-5.
- [6] H. Zhang, S. Seal, D. Wu, F. Bouffard, and B. Boulet, "Building Energy Management With Reinforcement Learning and Model Predictive Control: A Survey," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 27853–27862, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3156581.
- [7] D. Mariano-Hernández, L. Hernández-Callejo, A. Zorita-Lamadrid, O. Duque-Pérez, and F. Santos García, "A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis," *J. Build. Eng.*, vol. 33, p. 101692, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2020.101692.
- [8] T. R. Whiffen *et al.*, "A concept review of power line communication in building energy management systems for the small to medium sized non-domestic built environment," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 64, pp. 618–633, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2016.06.069.
- [9] D. Lee and C. C. Cheng, "Energy savings by energy management systems: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 760–777, Apr. 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2015.11.067.
- [10] P. Kumar *et al.*, "Indoor air quality and energy management through real-time sensing in commercial buildings," *Energy Build.*, vol. 111, pp. 145–153, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.11.037.
- [11] C. Salazar-Concha, P. Ficapal-Cusi, J. Boada-Grau, and L. J. Camacho, "Analyzing the evolution of technostress: A science mapping approach," *Heliyon*, vol. 7, no. 4, p. e06726, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06726.
- [12] E. Zarate-Perez, E. Rosales-Asensio, A. González-Martínez, M. de Simón-Martín, and A. Colmenar-Santos, "Battery energy storage performance in microgrids: A scientific mapping perspective," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 259–268, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.06.116.
- [13] E. Zarate-Perez, C. Cornejo-Carbajal, J. Grados, and R. Sebastián, "Energy Autonomy in Households using Photovoltaic Solar Energy and Battery Energy Storage: An Evaluation Model," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, vol. 2022-July, 2022, doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.180.
- [14] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera,

- “SciMAT: A new science mapping analysis software tool,” *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 1609–1630, Aug. 2012, doi: 10.1002/ASI.22688.
- [15] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera, “SciMAT: A new science mapping analysis software tool,” *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 1609–1630, Aug. 2012, doi: 10.1002/asi.22688.
- [16] J. R. López-Robles, M. J. Cobo, N. K. Gamboa-Rosales, and E. Herrera-Viedma, “Mapping the intellectual structure of the international journal of computers communications and control: A content analysis from 2015 to 2019,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, vol. 1243 AISC, pp. 296–303. doi: 10.1007/978-3-030-53651-0_25.
- [17] E. Zarate-Perez, R. Sebastián, and J. Grados, “Online Labs: A Perspective Based on Bibliometric Analysis,” in *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology: “Prospective and Trends in Technology and Skills for Sustainable Social Development”* and “Leveraging Emerging Technologies to Con”, 2021, vol. 2021-July. doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.267.
- [18] J. A. Moral-Muñoz, M. J. Cobo, E. Peis, M. Arroyo-Morales, and E. Herrera-Viedma, “Analyzing the research in Integrative & Complementary Medicine by means of science mapping,” *Complement. Ther. Med.*, vol. 22, no. 2, pp. 409–418, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.ctim.2014.02.003.
- [19] J. López-Belmonte, A. Segura-Robles, A.-J. Moreno-Guerrero, and M.-E. Parra-González, “Projection of E-Learning in Higher Education: A Study of Its Scientific Production in Web of Science,” *Eur. J. Investig. Heal. Psychol. Educ.*, vol. 11, no. 1, pp. 20–32, Jan. 2021, doi: 10.3390/ejihpe11010003.
- [20] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–105, 2002, doi: 10.1109/MCOM.2002.1024422.
- [21] P. Zhou, G. Huang, L. Zhang, and K. F. Tsang, “Wireless sensor network based monitoring system for a large-scale indoor space: data process and supply air allocation optimization,” *Energy Build.*, vol. 103, pp. 365–374, Sep. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.06.042.
- [22] S. Di Turi, L. Ronchetti, and R. Sannino, “Towards the objective of Net ZEB: Detailed energy analysis and cost assessment for new office buildings in Italy,” *Energy Build.*, vol. 279, p. 112707, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.112707.
- [23] J. A. Clarke *et al.*, “Simulation-assisted control in building energy management systems,” *Energy Build.*, vol. 34, no. 9, pp. 933–940, Oct. 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00068-3.
- [24] E. Zarate-Perez, E. Rosales-Asensio, A. González-Martínez, M. de Simón-Martín, and A. Colmenar-Santos, “Battery energy storage performance in microgrids: A scientific mapping perspective,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 259–268, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.06.116.
- [25] Y. Gao, S. Li, Y. Xiao, W. Dong, M. Fairbank, and B. Lu, “An Iterative Optimization and Learning-Based IoT System for Energy Management of Connected Buildings,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 21, pp. 21246–21259, Nov. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3176306.
- [26] I. Blanco, G. Vox, E. Schettini, and G. Russo, “Assessment of the environmental loads of green façades in buildings: a comparison with un-vegetated exterior walls,” *J. Environ. Manage.*, vol. 294, p. 112927, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2021.112927.
- [27] D. Kolokotsa, C. Diakaki, E. Grigoroudis, G. Stavrakakis, and K. Kalaitzakis, “Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings,” <http://dx.doi.org/10.3763/aber.2009.0305>, vol. 3, no. 1, pp. 121–146, 2011, doi: 10.3763/ABER.2009.0305.
- [28] C. D. Şahin, Z. D. Arsan, S. S. Tunçoku, T. Broström, and G. G. Akkurt, “A transdisciplinary approach on the energy efficient retrofitting of a historic building in the Aegean Region of Turkey,” *Energy Build.*, vol. 96, pp. 128–139, Jun. 2015, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.03.018.
- [29] K. G. Park, Y. Kim, S. M. Kim, K. H. Kim, W. H. Lee, and H. C. Park, “Building energy management system based on smart grid,” *INTELEC, Int. Telecommun. Energy Conf.*, 2011, doi: 10.1109/INTLEC.2011.6099782.
- [30] T. Kumar, R. Srinivasan, and M. Mani, “An Emery-based Approach to Evaluate the Effectiveness of Integrating IoT-based Sensing Systems into Smart Buildings,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 52, p. 102225, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SETA.2022.102225.
- [31] D. Poljak, “On the use of boundary integral methods in bioelectromagnetics,” *Numer. Methods Adv. Simul. Biomech. Biol. Process.*, pp. 119–143, 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-811718-7.00007-1.