ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.851

Smart building design and its relationship with environmental impact: a systematic review

Camila Karyme Najarro Castillo[1], Lesli Alexandra Palacios Hinostroza[1], César Gerardo León-Velarde[1], Silvia Milagros Fernández Flores[2]
Organización: 1: Universidad Nacional Federico Villarreal - (PE); 2: Universidad Tecnológica del Perú UTP - (PE)

Abstract*– This systematic review evaluates the relationship between smart buildings and their environmental impact through an analysis of 30 scientific articles, using the PICO and PRISMA methodologies. The most important objective is to identify how smart buildings help to reduce environmental impact by improving energy efficiency, reducing CO2 emissions, optimizing the consumption of HVAC systems and implementing advanced technologies. The energy efficiency criterion stands out as the most important with 53.33% emphasis, showing that these buildings are a feasible solution to promote sustainability and minimize the consumption of energy resources. This work highlights the potential of smart buildings as a crucial tool to reduce climate change and promote sustainable urban practices. Keywords: Smart buildings, environmental impact, energy efficiency, technologies, sustainability.

Diseño de edificios inteligentes y su relación con el impacto ambiental: una revisión sistemática

Camila Karyme Najarro Castillo[1], Lesli Alexandra Palacios Hinostroza[1], César Gerardo León-Velarde[1], Silvia Milagros Fernández Flores[2]
Organización: 1: Universidad Nacional Federico Villarreal - (PE); 2: Universidad Tecnológica del Perú UTP - (PE)

***Resumen*– Esta revisión sistemática evalúa la relación que existe entre los edificios inteligentes y su impacto ambiental mediante un análisis de 30 artículos científicos, empleando las metodologías PICO y PRISMA. El objetivo más importante es identificar cómo los edificios inteligentes ayudan a reducir el impacto ambiental al mejorar la eficiencia energética, disminuir las emisiones de CO2, optimizar el consumo de sistemas HVAC e implementar tecnologías avanzadas. El criterio de eficiencia energética sobresale como el más importante con un 53.33% de énfasis, muestra que estos edificios son una solución factible para impulsar la sostenibilidad y minimizar el consumo de recursos energéticos. Este trabajo destaca el potencial de los edificios inteligentes como una herramienta crucial para reducir el cambio climático y promover prácticas urbanas sostenibles**

***Palabras clave*-- Edificios inteligentes, impacto ambiental, eficiencia energética, tecnologías, sostenibilidad.**

I. INTRODUCCIÓN

Los edificios inteligentes han ganado popularidad por su capacidad para reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida. Tecnologías como la monitorización remota de energía en calefacción y ventilación, la iluminación ajustada según ocupación, persianas automáticas, y la integración de energía renovable permiten una gestión más eficiente y sostenible de los edificios [1]. Estas soluciones no solo optimizan el uso de recursos, sino que también reducen las emisiones contaminantes, contribuyendo a la creación de ciudades más verdes.

En estos últimos años, el impacto ambiental generado por los seres humanos ha aumentado considerablemente, dejando una huella que será difícil de eliminar. Aproximadamente el 40% de la energía mundial es utilizada en edificios, que producen alrededor del 30% de las emisiones de CO_2, lo que repercute en las emisiones de gases de efecto invernadero [2]. Ante esta problemática, los investigadores encontraron a los edificios inteligentes como una solución viable y eficaz. Los resultados de la investigación de Shankar, demuestran que un modelo de edificio inteligente logró un ahorro energético de hasta un 35% [3].

El objetivo principal es analizar y sintetizar las investigaciones sobre las tecnologías y enfoques que optimizan la eficiencia y sostenibilidad de los edificios, identificando tendencias y vacíos en la revisión para orientar futuras mejoras en el campo. Los objetivos específicos son: (i) Identificar los avances tecnológicos recientes que se aplican a los edificios inteligentes para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. (ii) Analizar los beneficios ambientales y económicos de los edificios inteligentes. (iii) Examinar estudios que midan el impacto de los edificios inteligentes en la reducción de la huella de carbono y otros factores ambientales.

Esta revisión busca responder la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera los edificios inteligentes favorecen en la reducción del impacto ambiental?

En un estudio que se realizó en el año 2019, se demostró que el sector de construcción es responsable del consumo energético en más de 35% [4]. Además, los edificios representan alrededor del 40% del consumo de energía a nivel global [5]. Estas cifras resaltan la necesidad de encontrar una solución para lograr reducir este impacto al medio ambiente.

Por esta razón, esta revisión busca informar sobre estrategias eficaces que ayudarán a disminuir este impacto ambiental a través de implementación y diseño de edificios inteligentes.

El alcance de esta revisión está enfocado en el diseño e implementación de edificios residenciales inteligentes. El consumo energético de los edificios representa una parte considerable de la energía utilizada en las áreas urbanas [6]. Se abarcarán investigaciones que muestran soluciones inteligentes y efectivas en estos edificios. Estos edificios pueden convertirse en herramientas potentes en la batalla contra el cambio climático por medio de la disminución del consumo de energía [7]. Por esta razón, se buscará promover prácticas que inciten la conservación de energía y ayudar a reducir el impacto ambiental.

La siguiente revisión estará compuesta por las siguientes secciones:

Primera parte

Introducción: Contextualización, problema de la investigación, objetivo de la revisión, pregunta de investigación, justificación, alcance y estructura.

Segunda parte

Metodología: Se utilizará la metodología PICO, que nos ayudará a estructurar preguntas de investigación para buscar evidencia de manera eficaz, y también PRISMA que nos garantizará la calidad y transparencia en las revisiones

sistemáticas. Ambas, fortalecerán la investigación basada en evidencia fundamental y de alta importancia.

Tercera parte

Resultados: Se mostrarán los datos más importantes encontrados en las investigaciones, identificando las soluciones más efectivas sobre el impacto al medio ambiente.

Cuarta parte

Discusión: Los resultados obtenidos será analizados y se discutirán las limitaciones y las oportunidades para investigaciones futuras.

II. METODOLOGÍA

A. PICO

Es un método para formular preguntas de investigación en un esquema. Este método sugiere que un buen diseño de estudio se debe tener claro cuatro elementos: Paciente o Población de interés, Intervención que se realiza a la población, tratamiento de Comparación o Control y Resultados que se observarán [8].

La pregunta formulada con la metodología PICO es la siguiente: ¿De qué manera los edificios inteligentes favorecen en la reducción del impacto ambiental?

Seguidamente, se realizó una subdivisión de la pregunta principal:

RQ1: ¿Cuál es la importancia de los edificios inteligentes para la sostenibilidad ambiental en la actualidad?

RQ2: ¿Cuál es el mayor impacto del uso de tecnologías en los edificios?

RQ3: ¿Qué país tiene mayor interés en los edificios inteligentes?

En el siguiente cuadro se observan los cuatro elementos del método:

TABLA 1
MÉTODO PICO

P	Edificios Residenciales
I	Implementación de tecnologías
C	Edificios tradicionales
O	Eficiencia en el uso de recursos y energía
C	Edificios inteligentes

B. PRISMA

La declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) fue diseñada para ayudar a los autores de revisiones sistemáticas a documentar de manera transparente el porqué de la revisión, que hicieron los autores y qué encontraron [9].

Se realizó una ecuación de búsqueda (Tabla 2) para que la información encontrada sea precisa y eficiente para esta revisión, esta ecuación se realizó en la base de datos Scopus.

TABLA 2
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

Tópico	**Términos buscados**
Temática	*("smart buildings") OR ("intelligent buildings") OR (" sustainable buildings")*
Enfoque educativo	*("education on smart buildings") AND ("sustainability") AND ("environmental education")*
Contexto	*("smart buildings") OR ("environmental sustainability") OR ("energy-efficient buildings")*
Impacto	*("eco-friendly buildings") OR ("social impact") OR ("carbon emissions")*

Se logró establecer los siguientes criterios para el análisis de los artículos y la elaboración del diagrama PRISMA (Tabla 3), donde se obtuvo en total 30 artículos. La ecuación de búsqueda fue la siguiente: ("smart buildings" OR "intelligent buildings" OR "sustainable buildings") AND ("sustainability" OR "environmental education" OR "energy-efficient buildings") AND ("eco-friendly buildings" OR "social impact" OR "carbon emissions").

TABLA 3
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterio de inclusión	**Criterio de exclusión**
Publicadas entre 2020 y 2024	Publicadas antes del 2020
Inglés, español	Estudios que no midan o analicen el impacto ambiental directo
Almacenadas en Scopus	No presentan DOI
Publicaciones relacionadas con Edificios Inteligentes e Impacto ambiental	Estudios sin evaluación del impacto real
Artículos de Investigación o Revisiones Sistemáticas	Estudios sobre tecnologías obsoletas
Acceso abierto	No tener acceso abierto

El diagrama, Fig. 1 se divide en tres partes: Identificación, Cribado e Incluidos.

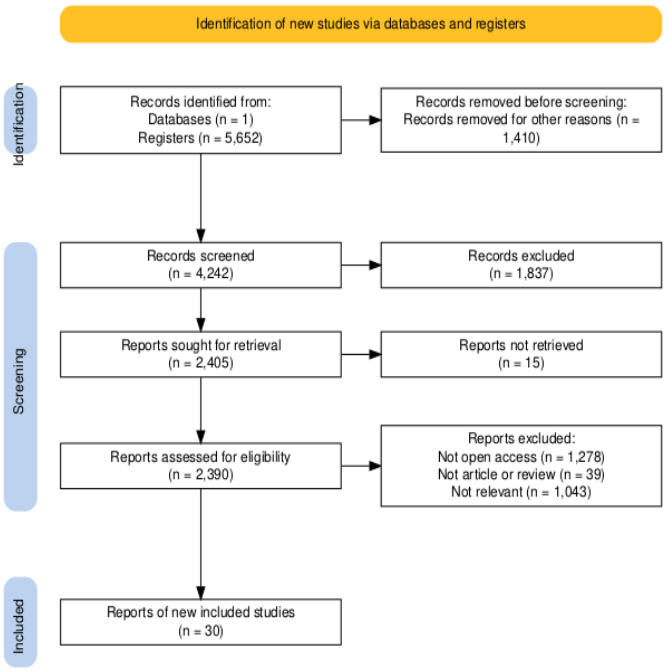

Fig. 1. Diagrama PRISMA

III. RESULTADOS

En la Fig. 2 se evidencia la cantidad de artículos por año que se encuentran en esta revisión sistemática de la literatura. El 93.3% de los documentos revisados pertenecen al año 2024 y el 7.7% al año 2023. Esta revisión tomo los artículos más recientes con el fin de examinar los últimos avances en los edificios inteligentes para compararlos con los edificios tradicionales con el fin de identificar las innovaciones y mejorar la comprensión de sus diferencias y beneficios en las ciudades.

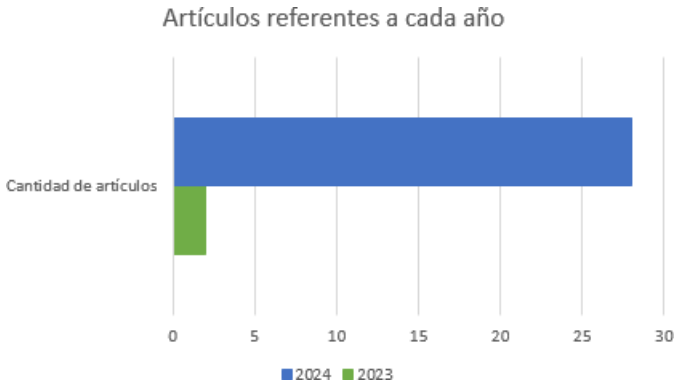

Fig. 2. Artículos referentes a cada año

Al analizar los resultados se logró encontrar cuatro criterios que relacionan entre sí a las investigaciones analizadas, esto se logra observar en la TABLA 4 donde el criterio de *Eficiencia Energética* obtiene un resultado sobresaliente de 53.33% de relevancia, ya que la reducción de la demanda energética es clave para optimizar los sistemas de energía renovable en edificios autónomos [10] y promueve la sostenibilidad urbana y la reducción de la contaminación [11].

TABLA 4
CRITERIOS DE INVESTIGACIÓN

CRITERIO	CANT. ARTÍCULOS	PORCENTAJE (%)
Reducción de CO_2	3	10,00%
Potenciar consumo de HVAC	2	6,67%
Eficiencia energética	16	53,33%
Implementación de tecnologías	5	16,67%
No relevantes	4	13,33%

Esta información logra responder la primera pregunta planteada, dando como importancia la eficiencia energética que permite disminuir el impacto ambiental.

RQ1: ¿Cuál es la importancia de los edificios inteligentes para la sostenibilidad ambiental en la actualidad?

Dentro de estos criterios hallados encontramos también la importancia de la implementación de tecnologías en los edificios, en el cual se refleja su impacto en la Tabla 5 donde se resalta su importancia en la optimación de consumo energético, lo que proporciona un equilibrio adecuado entre el consumo energético, el alcance y las características de las ondas al interactuar con diferentes materiales de las edificaciones [12], también se destaca la importancia de las diferentes categorías de sistemas en el ámbito de la construcción, resaltando su papel esencial en la reducción del impacto ambiental [13].

TABLA 5
IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS

IMPACTO DEL USO DE TECNOLOGÍAS	PORCENTAJE (%)
Optimizan consumo energético	60%
Presenta altos costos	20%
Relevancia en ciclo de vida de las edificaciones	20%

Destacando esta información logramos responder la segunda pregunta planteada, estableciendo la optimización de consumo energético como mayor impacto del uso de tecnologías en los edificios.

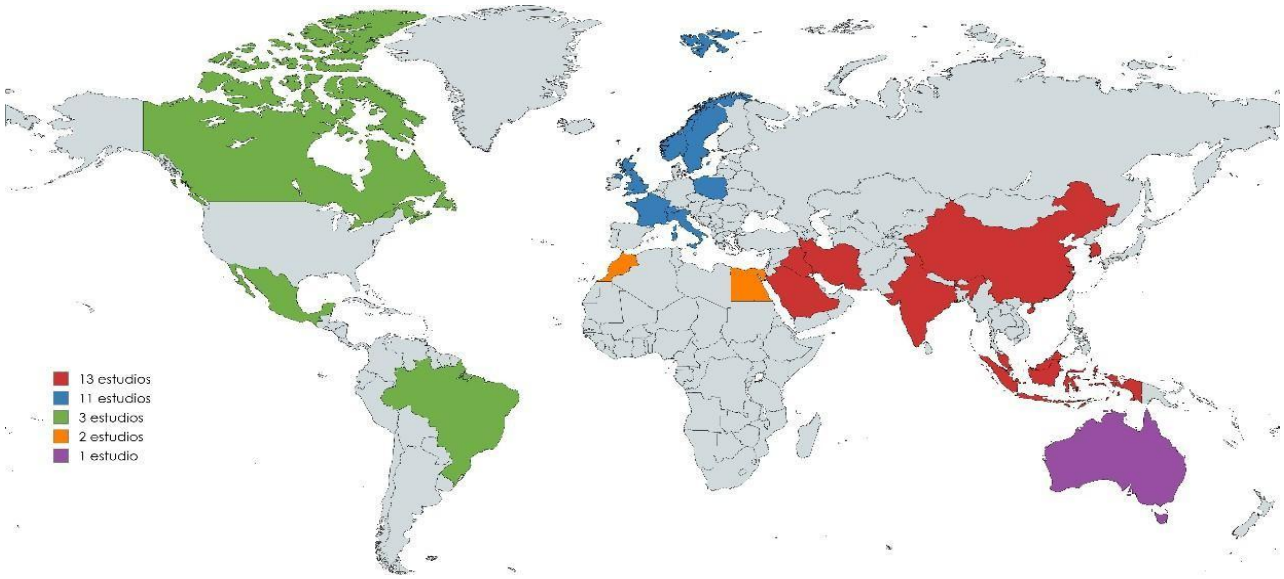

Fig. 3. Origen de las investigaciones

RQ2: ¿Cuál es el mayor impacto del uso de tecnologías en los edificios?

RQ3: ¿Qué país tiene mayor interés en los edificios inteligentes?

En la Figura 3, se puede identificar que el continente con más investigaciones es Asia con 13 estudios encontrados en la muestra, siendo India el país con mayor número de estudios. Con lo expuesto podemos deducir que en Asia se está tomando en cuenta a los edificios inteligentes como solución para la contaminación ambiental. En específico, India es el país con mayor interés en estos edificios.

III. DISCUSIÓN

Luego de obtener los resultados tras un análisis de los 30 artículos seleccionados, se obtuvieron cuatro criterios, donde el primero de ellos se refiere al impacto que tienen los edificios inteligentes con la reducción de CO2, donde el autor Behzadi, A, afirma que el objetivo de implementar edificios inteligentes es reducir la contaminación reduciendo las emisiones de CO2 [14], al igual que el autor Patel, B, que también afirma que estos abordan los desafíos ambientales y mejorar la sostenibilidad beneficiando a la reducción de la huella de carbono [1], al mismo tiempo Alotaibi, B, vuelve a reafirmar que el consumo energético de los edificios inteligentes disminuye un 8% en promedio, y las emisiones de CO2 se reducen significativamente, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental [15].

El segundo criterio que se obtuvo y con mayor relevancia fue la eficiencia energética que generan estos edificios donde algunos mencionan que los edificios verdes ofrecen beneficios significativos, pero con altos costos iniciales [16], por otro lado, también se sostiene que estos altos costos iniciales son justificados por los beneficios energéticos, ambientales y socioeconómicos que generan [17]. También se menciona que la integración de sistemas de energía solar, contribuyen a la sostenibilidad ambiental reduciendo significativamente el consumo de recursos energéticos [18] al igual que la integración de sistemas fotovoltaicos en los edificios, para lograr la autosuficiencia energética [19].

Se menciona también que integrar BIM, análisis de costos del ciclo de vida y pruebas ortogonales mejora la eficiencia energética y económica de los edificios ecológicos y reduce significativamente el consumo de energía y los costos [20], así mismo como el diseño de escuelas ecológicas utilizando simulaciones energéticas y materiales sostenibles mejora significativamente la eficiencia energética y reduce costos [21].

Los hallazgos resaltan el potencial de combinar modelos de predicción de energía con sistemas de detección de fallas y controladores predictivos, lo que podría mejorar las prácticas de gestión energética en los edificios [22], al igual que la técnica de predicción para mejorar la precisión de la demanda de energía en hogares individuales que puede ayudar en la gestión y operación de la energía en edificios inteligentes [23], mientras que los métodos basados en aprendizaje automático permiten un arranque más eficiente y adaptado a las condiciones reales de cada espacio optimizando el consumo de energía en el edificio [24].

Por otro lado, se menciona que los puntos de ajuste dinámicos optimizados permiten un mayor ahorro de energía al adaptarse a las condiciones cambiantes de ocupación y clima [25] y el predictor NGD se revela como una herramienta prometedora para aplicaciones industriales, como la detección

de objetos, la seguridad en automóviles y los sistemas de control de confort en edificios inteligentes [26].

En el tercer criterio, la implementación de tecnologías inteligentes en edificios resulta beneficiosa en eficiencia energética y seguridad. Gobinath y Huotari están de acuerdo que, aunque al principio los costos de implementación son altos, los ahorros en energía y la optimización del consumo justifican la inversión [27], [28]. Además, Huotari resalta que el uso de sensores inteligentes no solo ayuda a disminuir el uso de energía, sino que también mejora la seguridad de las instalaciones [28]. Ahmed también comparte esta opinión, pues comenta que los sistemas inteligentes se vuelven más efectivos a medida que pasan los años, asegurando la sostenibilidad a largo plazo. [13]

Sin embargo, los autores no se ponen de acuerdo en ciertos puntos. Mientras que Gobinath y Huotari se enfocan en los beneficios energéticos y operativos de la implementación de tecnología, Garzia afirma que las diferencias preparación de entre edificios de oficinas y residenciales limitan que las tecnologías puedan ser usadas universalmente [27], [28], [29]. Además, Affonso señala que la falta de personal calificado, las políticas gubernamentales insuficientes y los altos costos son factores que limitan la implementación [30]. Según Ahmed, este punto no es correcto pues, a pesar de las dificultades externas, es importante integrar estas tecnologías en los edificios, agregando que las soluciones no deberían depender de factores externos [13].

Por último, en el cuarto criterio, los autores coinciden en que la gestión del consumo energético de los sistemas HVAC en edificios inteligentes es fundamental para reducir el impacto ambiental. Boutahri y Avendano afirman que, a pesar de que los sistemas HVAC pueden aumentar el consumo de energía, su automatización y optimización a través de tecnologías inteligentes contribuyen a mejorar la comodidad sin aumento en el impacto ambiental [31], [32] Boutahri señala que su modelo de control inteligente propuesto mejora la comodidad de los inquilinos [31], [32], mientras que Avendano menciona que la flexibilidad energética y la integración con otros sistemas, como las cargas de vehículos eléctricos (EVC), pueden disminuir los efectos ambientales negativos [31], [32]. Ambos están de acuerdo en que un consumo óptimo de energía dentro de los sistemas HVAC es crucial para reducir las emisiones y promover la sostenibilidad.

IV. CONCLUSIONES

Tras haber analizado 30 artículos se puede destacar el impacto positivo que generan los edificios inteligentes en la sostenibilidad ambiental, la eficiencia energética y la innovación tecnológica aplicada a la gestión de recursos, donde se afirma que la reducción de emisiones de CO2 se enfatiza como uno de los principales beneficios de estos edificios y también la implementación de tecnologías contribuyen significativamente a la disminución del consumo de energía y fomenta la sostenibilidad ambiental.

Los edificios inteligentes generan un impacto positivo y significativo en el medio ambiente gracias a la eficiencia energética y la innovación tecnológica. Durante la revisión se identificó que la eficiencia energética en los edificios residenciales es crucial, obteniendo un 53.33% de relevancia en los criterios analizados, esto indica que es clave para promover la sostenibilidad y la reducción de la contaminación en las ciudades. Además, la innovación tecnológica es otro punto relevante por considerar ya que los edificios inteligentes dependen de ella.

En vista de la considerable huella de carbono que dejan los edificios tradicionales, se hace notoria la necesidad de adoptar soluciones como los edificios inteligentes para disminuir el impacto ambiental y promover prácticas de conservación de energía, también es importante mencionar que ello requiere del compromiso de las personas que residen o trabajan en el edificio.

Esta investigación contribuye significativamente a la literatura al ofrecer una revisión sistemática sobre la relación entre edificios inteligentes y el impacto ambiental. Al analizar 30 artículos, se integran y sintetizan los conocimientos existentes en este campo, proporcionando cuatro criterios clave: reducción de CO2, eficiencia energética, consumo de HVAC y tecnologías implementadas.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el alcance geográfico de los estudios, incluyendo una mayor diversidad de contextos culturales y económicos para entender mejor la implementación de edificios inteligentes. Además, se destaca la importancia de explorar nuevas tecnologías que puedan mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en los edificios.

REFERENCIAS

[1] B. Patel, J. Vasa, y H. Mewada, «Exploring GreenIoT's technical landscape: Sustainable development, deployment, use case and research challenges», *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, sep. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100703.

[2] M. Feyzi y H. Mojallali, «Optimal placement of light sensor for improving energy efficiency and visual comfort in smart buildings», *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, sep. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100681.

[3] R. Shankar Raman *et al.*, «The Future of Smart Buildings: Integration of IoT in Construction Engineering», en *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, jul. 2024. doi: 10.1051/e3sconf/202455201128.

[4] C. Lagarde, M. Robillart, D. Bigaud, y M. L. Pannier, «Assessing and comparing the environmental impact

of smart residential buildings: A life cycle approach with uncertainty analysis», *J Clean Prod*, vol. 467, ago. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143004.

[5] S. Chitnis, N. Somu, y A. Kowli, «Occupancy estimation with environmental sensors: The possibilities and limitations», *Energy and Built Environment*, feb. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.09.003.

[6] Y. Boutahri y A. Tilioua, «Machine learning-based predictive model for thermal comfort and energy optimization in smart buildings», *Results in Engineering*, vol. 22, jun. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102148.

[7] E. A. Metwally, M. Refat Ismail, y A. A. Farid, «Development of an IoT occupant-centric metrics: A systematic literature review», 1 de septiembre de 2024, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.rineng.2024.102614.

[8] A. Nishikawa-Pacher, «Research Questions with PICO: A Universal Mnemonic», *Publications*, vol. 10, n.º 3, sep. 2022, doi: 10.3390/publications10030021.

[9] M. J. Page *et al.*, «The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews», 29 de marzo de 2021, *BMJ Publishing Group*. doi: 10.1136/bmj.n71.

[10] S. Mohammadi y A. M. Bahman, «Assessing residential sustainable energy autonomous buildings for hot climate applications», *J Clean Prod*, vol. 471, sep. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143410.

[11] H. S. Choi, «Experimental Infrastructure Design for Energy-Independent Car Park Building Based on Parametric Photovoltaic Facade System», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, n.º 18, sep. 2024, doi: 10.3390/app14188448.

[12] M. Styła *et al.*, «Detection and Determination of User Position Using Radio Tomography with Optimal Energy Consumption of Measuring Devices in Smart Buildings», *Energies* , vol. 17, n.º 11, jun. 2024, doi: 10.3390/en17112757.

[13] M. A. Ahmed, H. T. Jaber, y M. M. Al-Haydary, «The Effectiveness of Innovative Systems Technologies in Smart Building Structuers», *Civil and Environmental Engineering*, vol. 20, n.º 1, pp. 194-203, jun. 2024, doi: 10.2478/cee-2024-0016.

[14] A. Behzadi, C. Duwig, A. Ploskic, S. Holmberg, y S. Sadrizadeh, «Application to novel smart techniques for decarbonization of commercial building heating and cooling through optimal energy management», *Appl Energy*, vol. 376, dic. 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124224.

[15] B. S. Alotaibi *et al.*, «A novel approach to estimate building electric power consumption based on machine learning method: toward net-zero energy, low carbon and smart buildings», *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 19, pp. 2335-2345, 2024, doi: 10.1093/ijlct/ctae084.S. Hardjomuljadi, H. Sulistio, M. Agung Wibowo, y S. Dikun, «EXPLORING THE FINANCIAL DYNAMICS OF GREEN BUILDING ADOPTION: INSIGHTS FROM INDONESIA».

[16] S. Pragati, R. Shanthi Priya, C. Pradeepa, y R. Senthil, «Simulation of the Energy Performance of a Building with Green Roofs and Green Walls in a Tropical Climate», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, n.º 3, feb. 2023, doi: 10.3390/su15032006.

[17] L. Angel Iturralde Carrera *et al.*, «Integration of Energy Management and Efficiency System for Buildings With Zero Carbon Emissions: A Case of Study», *IEEE Access*, vol. 12, pp. 64237-64251, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3396816.

[18] B. C. Kwag, G. T. Kim, y I. T. Hwang, «Integration of Photovoltaic Systems for Energy Self-Sufficient Low-Rise Multi-Family Residential Buildings in Republic of Korea», *Buildings*, vol. 14, n.º 8, ago. 2024, doi: 10.3390/buildings14082522.

[19] X. Li, M. Lin, M. Jiang, C. Y. Jim, K. Liu, y H. Tserng, «BIM AND ORTHOGONAL TEST METHODS TO OPTIMIZE THE ENERGY CONSUMPTION OF GREEN BUILDINGS», *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 30, n.º 8, pp. 670-690, sep. 2024, doi: 10.3846/jcem.2024.21745.

[20] N. Amani, «Sustainable construction of green school building using energy simulation analysis and modeling», *Hybrid Advances*, vol. 6, p. 100236, ago. 2024, doi: 10.1016/j.hybadv.2024.100236.

[21] M. Elkabalawy, A. Al-Sakkaf, E. Mohammed Abdelkader, y G. Alfalah, «CRISP-DM-Based Data- Driven Approach for Building Energy Prediction Utilizing Indoor and Environmental Factors», *Sustainability*, vol. 16, n.º 17, p. 7249, ago. 2024, doi: 10.3390/su16177249.

[22] G. La Tona, M. Luna, y M. C. Di Piazza, «Day-ahead forecasting of residential electric power consumption for energy management using Long Short-Term Memory encoder–decoder model», *Math Comput Simul*, vol. 224, pp. 63-75, oct. 2024, doi: 10.1016/j.matcom.2023.06.017.

[23] F. Dadras Javan, I. A. Campodonico Avendano, B. Najafi, M. Rossi, y F. Rinaldi, «Estimating morning ramp-up duration for the cooling season in a smart building using machine learning: Determining most promising features», *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 69, sep. 2024, doi: 10.1016/j.seta.2024.103911.

[24] R. Talami, I. Dawoodjee, y A. Ghahramani, «Demystifying energy savings from dynamic temperature setpoints under weather and occupancy variability», *Energy and Built Environment*, vol. 5, n.º 6, pp. 878-888, dic. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.07.001.

[25] R. Costa, R. Silva, R. Faia, L. Gomes, P. Faria, y Z. Vale, «Empowering energy management in smart buildings: A comprehensive study on distributed energy storage systems for Sustainable consumption», Energy Build, vol. 324, dic. 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114953.

[26] [26] P. Gobinath, R. H. Crawford, M. Traverso, y B. Rismanchi, «Comparing the life cycle costs of a traditional and a smart HVAC control system for Australian office buildings», Journal of Building Engineering, vol. 91, ago. 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.109686.

[27] [27] M. Huotari, A. Malhi, y K. Främling, «Machine Learning Applications for Smart Building Energy Utilization: A Survey», Archives of Computational Methods in Engineering, jul. 2024, doi: 10.1007/s11831-023-10054-7.

[28] [28] F. Garzia, G. Pernigotto, D. Menegon, L. Finozzi, U. Klammsteiner, y A. Gasparella, «Assessment of the potential correlation between Smart Readiness Indicator and energy performance in a dataset of buildings in South Tyrol», Energy Build, vol. 321, oct. 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114623.

[29] [29] E. O. T. Affonso et al., «The Main Barriers Limiting the Development of Smart Buildings», Buildings, vol. 14, n.o 6, jun. 2024, doi: 10.3390/buildings14061726.

[30] [30] Y. Boutahri y A. Tilioua, «Machine learning-based predictive model for thermal comfort and energy optimization in smart buildings», Results in Engineering, vol. 22, jun. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102148.

[31] [31] I. A. Campodonico Avendano, K. Heimar Andersen, S. Erba, A. Moazami, M. Aghaei, y B. Najafi, «A novel framework for assessing the smartness and the smart readiness level in highly electrified non-residential buildings: A Norwegian case study», Energy Build, vol. 314, jul. 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114234.