



Revista Especializada de Ingeniería
y Ciencias de la Tierra

VOL: 4 N° 2 Enero - Julio 2025

ISSN L: 2805-1874

El estado del arte de la integración de sistemas inteligentes en la edificación y su impacto en la eficiencia energética

The state of the art of the integration of intelligent systems in buildings and their impact on energy efficiency

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá
gabriel.montufar@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Recibido:8/3/2024 Aceptado: 1/5/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/reict.v4n2.6759>

RESUMEN

La investigación analiza el estado del arte de la integración de sistemas inteligentes en edificios y su impacto en la eficiencia energética, abordando el desafío global de la sostenibilidad. El estudio combina un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, con un diseño observacional y transversal basado en la revisión de 30 artículos clave publicados entre 2020 y 2024. Los hallazgos destacan que la implementación de tecnologías como IoT, inteligencia artificial y sistemas híbridos de energía renovable optimiza significativamente el consumo energético y reduce las emisiones de CO₂, alcanzando ahorros de hasta un 70% en dependencia de fuentes externas. Sin embargo, se identificaron barreras como los altos costos iniciales y la falta de interoperabilidad tecnológica. Este trabajo aporta una síntesis crítica de avances tecnológicos y propone estrategias prácticas para superar dichos obstáculos, subrayando la necesidad de normativas específicas e incentivos económicos. Las implicaciones del estudio son relevantes para investigadores, diseñadores y responsables de políticas, proporcionando una base para futuros desarrollos en edificaciones sostenibles. Finalmente, se identifican áreas para futuras investigaciones, incluyendo estudios longitudinales y esquemas innovadores de financiamiento, como la energía como servicio.

Palabras clave: edificios inteligentes; eficiencia energética; internet de las cosas (IoT); sistemas híbridos; sostenibilidad ambiental

The state of the art of the integration of intelligent systems in buildings and their impact on energy efficiency

ABSTRACT

The research analyses the state of the art of smart systems integration in buildings and its impact on energy efficiency, addressing the global challenge of sustainability. The study combines a mixed qualitative and quantitative approach, with an observational and cross-sectional design based on the review of 30 key articles published between 2020 and 2024. The findings highlight that the implementation of technologies such as IoT, artificial intelligence and hybrid renewable energy systems significantly optimizes energy consumption and reduces CO₂ emissions, achieving savings of up to 70% in dependence on external sources. However, barriers such as high initial costs and lack of technological interoperability were identified. This work provides a critical synthesis of technological advances and proposes practical strategies to overcome such obstacles, highlighting the need for specific regulations and economic incentives. The implications of the study are relevant for researchers, designers and policy makers, providing a basis for future developments in sustainable buildings. Finally, areas for future research are identified, including longitudinal studies and innovative financing schemes, such as energy as a service.

Keywords: smart buildings; energy efficiency; internet of things (IoT); hybrid systems; environmental sustainability

INTRODUCCIÓN

La integración de sistemas inteligentes en edificios ha emergido como un enfoque transformador para abordar los retos de sostenibilidad y eficiencia energética en el sector de la construcción. Este tema se encuentra en la intersección de la innovación tecnológica y la necesidad global de reducir el impacto ambiental de las edificaciones, responsables de cerca del 40% del consumo energético mundial y una proporción significativa de emisiones de CO₂ (Canale et al., 2021). Ante este panorama, el presente artículo se centra en explorar el estado del arte de la integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las cosas (IoT), en edificios inteligentes, y su impacto en la eficiencia energética.

El problema central que se aborda en esta investigación es el vacío de conocimiento sobre cómo la convergencia de tecnologías emergentes puede maximizar la eficiencia energética de los edificios, superando barreras actuales como los altos costos iniciales, la interoperabilidad limitada y la aceptación de los usuarios. Aunque numerosos estudios han destacado los beneficios potenciales de estas tecnologías, persisten lagunas en la implementación práctica y en la comprensión de su impacto sistémico (Farzaneh et al., 2021; Dai et al., 2024; Shchetinin, 2020).

Abordar este tema es fundamental en el contexto de los compromisos internacionales de sostenibilidad, como el Acuerdo de París, y de las metas de desarrollo sostenible, particularmente el Objetivo 11, que busca ciudades sostenibles y resilientes. Además, el enfoque tiene relevancia local para regiones en desarrollo donde la implementación de edificios inteligentes podría aliviar la creciente demanda energética sin comprometer los recursos naturales (Motlagh et al., 2020; Le et al., 2024).

El marco teórico de este estudio se basa en teorías de sostenibilidad y diseño eficiente, complementadas por conceptos de sistemas ciberfísicos, gestión energética mediante IA y nZEB (edificios de energía casi nula). Estas perspectivas se apoyan en autores clave como Agostinelli et al. (2021), quienes destacan la integración de gemelos digitales y tecnologías predictivas para optimizar el consumo energético, y Dai et al. (2024), que investigan la combinación de múltiples fuentes de energía renovable para aumentar la autonomía de los edificios (Ntafalias et al., 2022).

Diversos estudios previos han investigado aspectos relacionados con edificios inteligentes y sostenibilidad. Por ejemplo, Farzaneh et al. (2021) examinan el uso de algoritmos de aprendizaje automático para predecir patrones de consumo energético, mientras que Motlagh et al. (2020) destacan los beneficios económicos y ambientales de los edificios de energía casi nula en países en desarrollo. Shen et al. (2022) plantean la importancia de estructuras basadas en computación de borde para optimizar sistemas energéticos inteligentes, mientras que Yagüe García (2020) analiza el impacto de casas inteligentes en las smart cities. Rohit et al. (2024) destacan cómo estas soluciones inteligentes también pueden ser aplicadas a la construcción ecológica para maximizar la eficiencia energética. Este artículo contribuye a este cuerpo de conocimiento al ofrecer una síntesis crítica de los avances tecnológicos y su implementación práctica, destacando tanto sus beneficios como las barreras asociadas.

La investigación se desarrolla en un contexto global donde el cambio climático y el aumento de la población urbana exigen soluciones innovadoras y sostenibles. Particularmente, se presta atención a las regiones en desarrollo donde el acceso limitado a tecnologías avanzadas y la infraestructura energética insuficiente plantean retos adicionales para la adopción de edificios inteligentes.

En este marco, el objetivo principal del trabajo es analizar las tendencias actuales en la integración de

sistemas inteligentes en edificios, evaluar su impacto en la eficiencia energética y proponer estrategias para superar las barreras existentes. Este análisis busca servir como una hoja de ruta para investigadores, diseñadores y tomadores de decisiones interesados en construir un futuro más sostenible y tecnológicamente avanzado.

METODOLOGÍA

Este ensayo se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando análisis cualitativo y cuantitativo para explorar el estado del arte de la integración de sistemas inteligentes en edificios y su impacto en la eficiencia energética. La investigación se clasifica como descriptiva y explicativa, ya que busca describir tecnologías actuales y explicar sus efectos en términos de eficiencia energética.

El diseño es observacional y transversal, ya que se centra en el análisis de literatura y datos disponibles en un periodo específico, sin intervención directa de los investigadores en los fenómenos observados.

La población está compuesta por artículos científicos revisados por pares publicados en revistas indexadas entre 2020 y 2024, relacionados con sistemas inteligentes, eficiencia energética y tecnologías sostenibles en edificaciones.

Criterios de Inclusión:

- Estudios que exploren tecnologías como IoT, inteligencia artificial, sistemas de energía renovable y gestión energética en edificios.
- Publicaciones en inglés y español.
- Documentos con acceso completo al contenido.

Criterios de Exclusión:

- Estudios no relacionados directamente con eficiencia energética o edificios inteligentes.
- Artículos de opinión o no revisados por pares.
- Se seleccionaron 30 artículos clave utilizando un sistema de muestreo intencionado, basado en su relevancia temática.

Se empleó la revisión documental como técnica principal para recopilar datos, utilizando herramientas digitales como bases de datos académicas.

Instrumentos de recolección:

- Guía de análisis documental que evaluó la relevancia de los artículos según criterios de contenido, calidad metodológica y pertinencia.
- Software de gestión bibliográfica para organizar referencias.

El análisis se realizó en dos fases:

- Análisis Cualitativo Temático: Identificación de patrones y temas recurrentes relacionados con la

integración de tecnologías inteligentes y su impacto.

-Análisis Cuantitativo Descriptivo: Clasificación de tecnologías y su frecuencia en la literatura revisada, presentando resultados en tablas y gráficos.

Se respetaron los derechos de autor de las fuentes utilizadas, citándolas adecuadamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los artículos revisados permitió identificar tendencias clave en la integración de sistemas inteligentes en edificios para optimizar la eficiencia energética. Los hallazgos principales se agrupan en cuatro áreas temáticas:

Avances tecnológicos en edificios inteligentes

Implementación de IoT y sensores inteligentes: Los estudios muestran que la integración de sensores avanzados y dispositivos IoT permite un monitoreo en tiempo real y un control dinámico del consumo energético. Por ejemplo, el uso de sistemas de ocupación dinámica ha demostrado reducir hasta un 20% el consumo energético en iluminación y climatización (Bucur et al., 2021; Ali & Aldaiyat, 2021). Además, sensores inteligentes aplicados a sistemas HVAC pueden ajustar automáticamente la ventilación y calefacción en función de las condiciones ambientales y ocupación, logrando ahorros energéticos significativos como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Ventajas de los edificios inteligentes

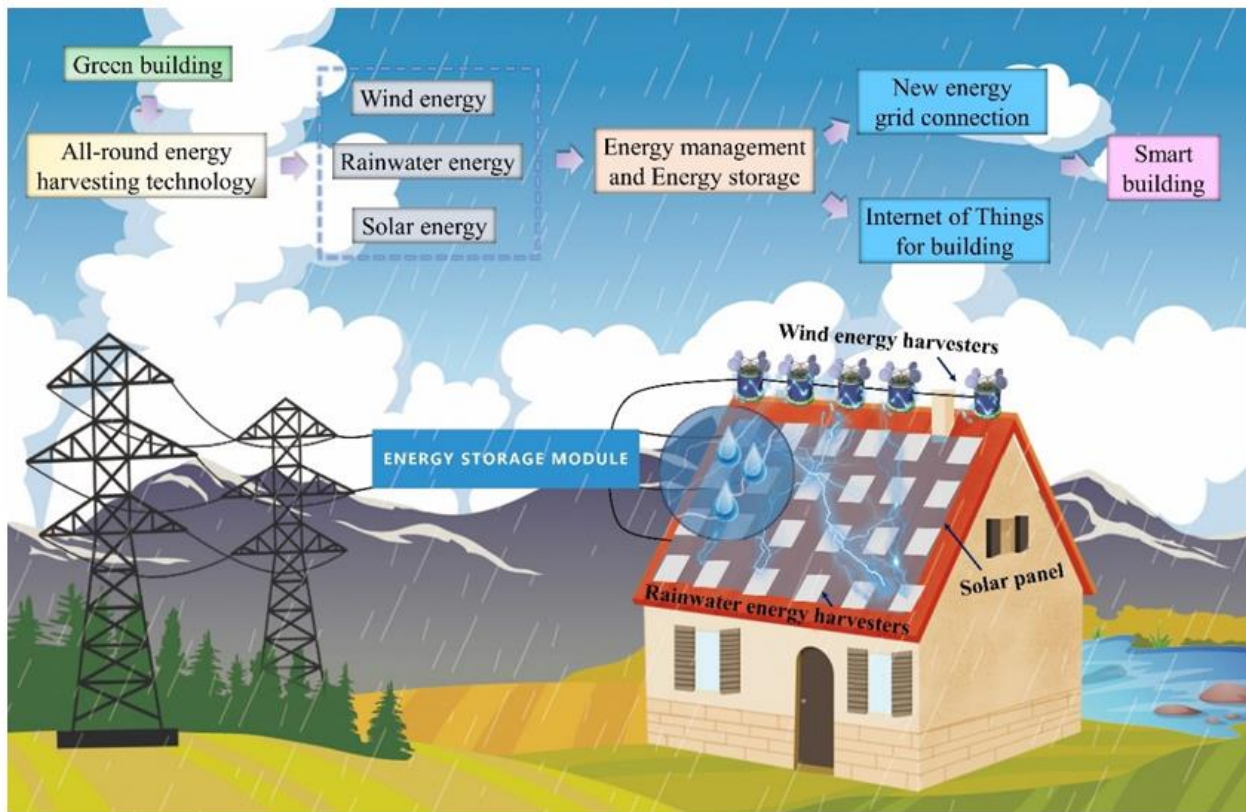


Nota: Bucur, I. et al. (2021)

Sistemas híbridos de energía renovable: Soluciones como la integración de paneles solares con turbinas eólicas y colectores de agua de lluvia maximizan la generación de energía renovable en diferentes condiciones climáticas (Dai et al., 2024; Zhang et al., 2024; Muñiz et al., 2024; Ma & Li, 2020; Behzadi & Arabkoohsar, 2020). Estas tecnologías, integradas con almacenamiento energético, permiten a los edificios ser más autosuficientes y reducir su dependencia de fuentes externas de energía como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Ilustración de sistemas de gestión y recolección de energía verde en edificios inteligentes



Nota: Dai, Q. et al. (2024) Impacto en la eficiencia energética

Edificios de energía casi nula: Se encontró que edificios con tecnologías de energía renovable integradas como las mostradas en la tabla 1 pueden reducir su dependencia de fuentes externas de energía en más del 70% (Lobodzinskiy et al., 2022). Esto se complementa con el uso de algoritmos de aprendizaje

automático para predecir y equilibrar la demanda energética. Los sistemas avanzados de gestión energética basados en IA permiten también participar en programas de respuesta a la demanda, optimizando el consumo en tiempo real (Yu et al., 2020; Iluyomade & Okwandu, 2024).

Reducción de emisiones de CO2: La implementación de estos sistemas contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental, disminuyendo las emisiones anuales de CO2 entre un 30% y un 50% en comparación con edificaciones tradicionales. Un sistema híbrido de gestión energética en el hogar mostró una reducción del 48% en el consumo total y maximizó el uso de energías renovables al 65% del total generado (Sechilariu, 2020; Qayyum et al., 2023).

Tabla 1. Tecnologías de energía renovable de rápida penetración aplicables al sector residencial para la conversión energética. .

Fuente de Energía Renovable (FER)	Tecnología de Energía Renovable (TER)	Producción de Energía
Bioenergía	Calderas de biomasa	Energía térmica
	Micro cogeneración de calor y electricidad	Energía térmica y eléctrica
Solar	Colectores solares térmicos	Energía térmica
	Paneles fotovoltaicos	Energía eléctrica
	Colectores fotovoltaico-térmicos	Energía térmica y eléctrica
Eólica	Turbina eólica	Energía eléctrica
Geotermia de baja entalpía	Bombas de calor geotérmicas	Energía térmica

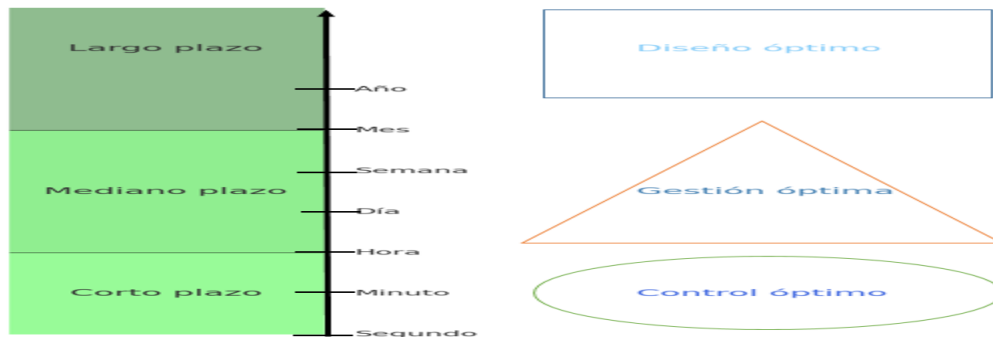
Nota: Canale, L. et al. (2021) Optimización del comportamiento del usuario y la interoperabilidad

Sistemas de control personalizados: Los sistemas de gestión energética integrados con interfaces de usuario permiten una interacción activa para programar y monitorear el consumo energético, mejorando la concienciación del usuario y promoviendo hábitos de consumo más sostenibles (Kumar et al., 2021; Aliero et al., 2022).

Interoperabilidad tecnológica: Arquitecturas como PHOENIX facilitan la integración de sistemas heredados y nuevos dispositivos, mejorando la escalabilidad y la flexibilidad en la gestión energética como se muestra en la figura 3. Esto es esencial para edificios que buscan modernizarse sin realizar renovaciones completas (Zhang & Yue, 2021).

Figura 3

Diferentes horizontes temporales en el diseño óptimo, la gestión óptima y el control óptimo



Nota: Canale, L. et al. (2021). Implicaciones económicas y sociales

Si bien la adopción de tecnologías inteligentes en edificios supone ahorros energéticos a mediano y largo plazo, el alto costo inicial sigue siendo una barrera significativa. Las familias de ingresos medios y bajos, así como las pequeñas y medianas empresas, se ven particularmente afectadas por la falta de acceso a financiamiento flexible, incentivos fiscales o subsidios directos para la adquisición e instalación de sistemas inteligentes. A nivel social, la disparidad en el acceso a estos sistemas podría acentuar desigualdades energéticas entre regiones y sectores poblacionales (Muniandi et al., 2024).

Además, la introducción de dispositivos IoT, algoritmos predictivos y sistemas de almacenamiento inteligente puede transformar los mercados energéticos locales, generando empleos especializados en el ámbito de la ingeniería, la gestión de datos y el mantenimiento de infraestructuras tecnológicas (Agostinelli et al., 2021; Du, 2024). Sin embargo, también se presenta el desafío de capacitar a la fuerza laboral en competencias digitales y técnicas. En este sentido, programas de formación continua y alianzas entre el sector privado, la academia y las instituciones públicas pueden resultar cruciales para asegurar que los beneficios económicos y sociales se repartan de manera equitativa (Orikpete et al., 2023).

Reglamentación, normativas y políticas públicas

La consolidación de sistemas inteligentes en la edificación está estrechamente ligada al desarrollo de un marco regulatorio claro y robusto. Estándares internacionales como ISO 50001 para la gestión de la energía o protocolos de comunicación abiertos facilitan la interoperabilidad y elevan la calidad de las soluciones implementadas (Pereira et al., 2020). Sin embargo, los hallazgos sugieren que todavía existe una necesidad acuciante de crear y unificar normativas específicas que aborden la integración de múltiples tecnologías y garanticen la seguridad, la confiabilidad y la protección de datos.

La creación de políticas públicas integrales que incluyan incentivos a la inversión, certificaciones

energéticas obligatorias y la promoción de guías de buenas prácticas podría acelerar la adopción masiva de estas tecnologías. Asimismo, la coordinación entre distintas jurisdicciones (local, regional, nacional) y la colaboración público-privada son esenciales para armonizar criterios, estándares y responsabilidades, evitando brechas normativas o vacíos legales que puedan retrasar la innovación.

Desarrollos tecnológicos emergentes y potencial disruptivo

El ritmo acelerado de la innovación tecnológica sugiere la aparición continua de nuevas soluciones que podrían redefinir el panorama energético en la edificación. Tecnologías emergentes como el edge computing, el almacenamiento avanzado mediante baterías de estado sólido, la gestión basada en blockchain y la inteligencia artificial explicable (XAI) prometen optimizar aún más la eficiencia, la seguridad y la transparencia en el intercambio de datos.

Además, la miniaturización y abaratamiento de los componentes electrónicos, junto con la proliferación de plataformas de código abierto, puede incrementar la accesibilidad y la escalabilidad de las soluciones, facilitando su implementación en proyectos de diversa envergadura. Esta evolución tecnológica, si se gestiona correctamente, podría reducir significativamente la brecha entre países desarrollados y en desarrollo, impulsando un cambio global hacia edificaciones energéticamente más eficientes.

Perspectivas para la investigación futura

Aunque el presente estudio se basa en la revisión documental y la literatura disponible, aún persisten vacíos de conocimiento que deberían abordarse con mayor profundidad. La falta de estudios longitudinales que evalúen el desempeño a largo plazo de sistemas híbridos en condiciones reales, así como la necesidad de ensayos controlados en entornos socioeconómicos desfavorables, se presenta como una oportunidad para la comunidad investigadora.

Asimismo, futuras investigaciones podrían centrarse en la evaluación comparativa de modelos de negocio y esquemas de financiamiento para la adopción de estas tecnologías, explorando cómo la introducción de servicios de energía como un producto (Energy-as-a-Service) podría transformar el mercado. Del mismo modo, el análisis interdisciplinario que incluya la psicología del consumo, la economía del comportamiento y las ciencias de la comunicación podría revelar nuevas estrategias para incrementar la aceptación y el compromiso del usuario.

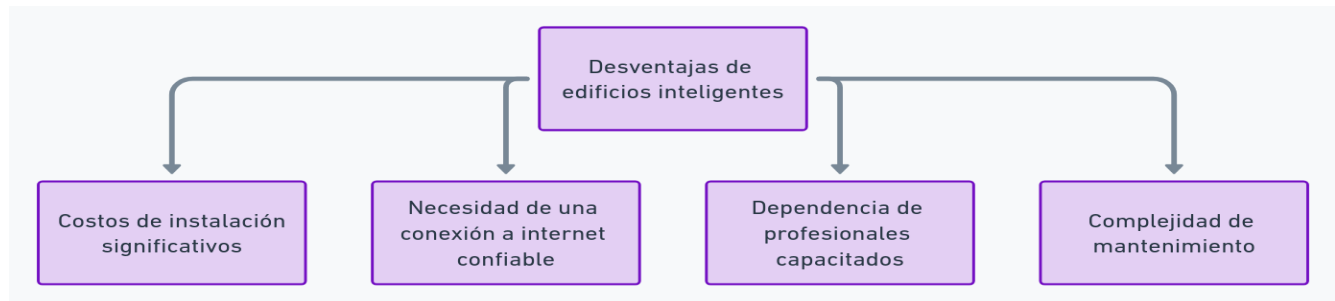
Barreras y retos identificados

Costos iniciales elevados: Aunque los beneficios a largo plazo son sustanciales, el costo inicial sigue siendo una barrera para la adopción masiva, especialmente en regiones en desarrollo. Proyectos piloto en Europa han demostrado que incentivos financieros pueden ser clave para superar esta barrera.

Falta de interoperabilidad: Se identificaron problemas relacionados con la integración de tecnologías de

diferentes proveedores, lo que dificulta la implementación de sistemas uniformes y escalables. Los sistemas de gestión basados en agentes y estándares comunes como ZigBee ofrecen soluciones prometedoras.

Figura 4. Desventajas de los edificios inteligentes



Nota: Bucur, I. et al. (2021).

Discusión

Los hallazgos destacan la capacidad de las tecnologías inteligentes para transformar la gestión energética en edificios. En consonancia con teorías previas, como las de Agostinelli et al. (2021), la integración de IoT y algoritmos predictivos demuestra ser crucial para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad de los edificios.

Comparando estos resultados con estudios como el de Farzaneh et al. (2021), se observa una alineación en el potencial de los edificios inteligentes para reducir el consumo energético. Sin embargo, nuestra investigación añade valor al identificar áreas críticas de mejora, como la interoperabilidad tecnológica y la reducción de costos iniciales. Zhu (2024) señala cómo los sistemas inteligentes en edificios ecológicos pueden ser clave para alcanzar metas de sostenibilidad mediante la integración de gestión energética avanzada.

Desde una perspectiva teórica, estos avances refuerzan el marco conceptual de los sistemas ciberfísicos, donde la interacción entre las tecnologías digitales y las físicas optimiza el rendimiento energético. Además, los resultados sugieren que las soluciones híbridas, que combinan múltiples fuentes de energía renovable, pueden ser clave para lograr edificaciones autosuficientes en entornos diversos y cambiantes. El principal aporte de este trabajo radica en la síntesis de soluciones prácticas y escalables para superar barreras persistentes, lo que lo diferencia de estudios previos enfocados principalmente en conceptos teóricos. Además, la identificación de la necesidad de normativas específicas para fomentar la interoperabilidad tecnológica y la inversión en tecnologías accesibles es una contribución significativa para futuras investigaciones.

Los hallazgos tienen implicaciones directas para arquitectos, ingenieros y responsables de políticas, proporcionando un marco para diseñar e implementar edificios inteligentes más sostenibles. En términos de aplicaciones prácticas, se destaca la necesidad de desarrollar incentivos económicos y normativos para fomentar la adopción masiva de estas tecnologías, especialmente en regiones de ingresos bajos y medios. Este estudio se limita a un análisis documental y no incluye experimentación directa, lo que podría reforzar las conclusiones. Futuros trabajos deberían explorar estudios de caso específicos en regiones con recursos limitados para evaluar la adaptabilidad y efectividad de estas tecnologías en contextos reales.

CONCLUSIONES

La integración de sistemas inteligentes en edificios representa un cambio paradigmático en la gestión energética y la sostenibilidad ambiental. Este estudio destaca que el empleo de tecnologías como IoT, inteligencia artificial y sistemas híbridos de energía renovable no solo optimiza el consumo energético, sino que también promueve una mayor autonomía y resiliencia en las edificaciones modernas.

En términos generales, se concluye que los sistemas de gestión energética inteligentes son una herramienta fundamental para abordar desafíos globales como el cambio climático y el creciente consumo energético. Estos sistemas, al combinar sensores avanzados, algoritmos predictivos y fuentes de energía renovable, permiten reducir significativamente las emisiones de CO₂ y los costos operativos de los edificios, contribuyendo al cumplimiento de metas internacionales de sostenibilidad como las establecidas en el Acuerdo de París. Sin embargo, la implementación práctica de estas tecnologías enfrenta barreras notables, como los altos costos iniciales y la falta de interoperabilidad entre dispositivos de diferentes proveedores.

Desde una perspectiva teórica, los hallazgos de este trabajo refuerzan el marco conceptual de los sistemas ciberfísicos, que integran tecnologías digitales y físicas para mejorar la eficiencia operativa. No obstante, persisten áreas críticas de mejora. Por ejemplo, la necesidad de desarrollar normativas específicas y estándares internacionales que garanticen la integración fluida y segura de múltiples tecnologías. Asimismo, es crucial fomentar incentivos económicos que faciliten la adopción de estas soluciones, particularmente en regiones en desarrollo donde los recursos financieros y técnicos son limitados.

En este sentido, los resultados obtenidos subrayan la importancia de continuar investigando en varias líneas. Una de ellas incluye el análisis de modelos de negocio innovadores, como el enfoque de "energía como servicio", que podría revolucionar la forma en que se financian y gestionan estos sistemas. Adicionalmente, se recomienda profundizar en estudios longitudinales que evalúen el desempeño de los sistemas híbridos en entornos reales y en contextos socioeconómicos diversos. Otra área prometedora es

el diseño de estrategias interdisciplinarias que combinen psicología del consumidor, economía del comportamiento y tecnologías emergentes para maximizar la aceptación y el impacto de estas innovaciones.

Finalmente, aunque los avances en tecnología están cerrando la brecha entre países desarrollados y en desarrollo, aún quedan desafíos por superar. Este trabajo invita a investigadores, diseñadores y responsables de políticas a colaborar para resolver estas interrogantes y construir un futuro donde los edificios inteligentes sean accesibles, sostenibles y eficaces en su propósito de transformar el entorno construido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agostinelli, S., Cumo, F., Guidi, G., y Tomazzoli, C. (2021). Sistemas ciberfísicos que mejoran la gestión energética de los edificios: gemelos digitales e inteligencia artificial. *Energías*. <https://doi.org/10.3390/EN14082338>

Ali, H. M., y Aldaiyat, R. (2021). Sistemas de climatización inteligentes para edificios modernos inteligentes. *Revistas de ingeniería y ciencias naturales (PEN)*.

Aliero, M. S., Asif, M., Ghani, I., Pasha, M. F. y Jeong, S. (2022). Análisis de revisión sistemática sobre edificios inteligentes: desafíos y oportunidades. *Sostenibilidad*. <https://doi.org/10.3390/su14053009>

Behzadi, A., y Arabkoohsar, A. (2020). Estudio de viabilidad de un sistema de energía para edificios inteligentes que comprende paneles solares fotovoltaicos y una unidad de almacenamiento de calor. *Energía*, 210, 118528. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118528>

Bucur, I., Axinte, P., Pleşcan, C. y Serban, A. (2021). Edificios inteligentes para la gestión del consumo energético. *Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales*, 1138. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1138/1/012006>

Canale, L., Di Fazio, A. D., Russo, M., Frattolillo, A. y Dell'Isola, M. (2021). Una visión general de la integración funcional de sistemas híbridos de energía renovable en edificios multienergéticos. *Energies*, 14(4), 1078. <https://doi.org/10.3390/EN14041078>

Dai, Q., Qian, J., Li, S. y Tao, L. (2024). Sistemas de recolección y gestión de energía verde en edificios inteligentes para una operación rentable. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings14030769>

Du, D. (2024). Sistema de construcción inteligente basado en la optimización multimodal de un centro de datos de energía. *2024 3rd International Conference on Sentiment Analysis and Deep Learning (ICSADL)*, 406–412. <https://doi.org/10.1109/ICSADL61749.2024.00072>

Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A. y Daka, P. P. (2021).

Evolución de la inteligencia artificial en edificios inteligentes para la eficiencia energética. *Ciencias Aplicadas*, 11(2), 763. <https://doi.org/10.3390/APP11020763>

Iluyomade, T. D., y Okwandu, A. C. (2024). Edificios inteligentes y diseño sostenible: aprovechamiento de la IA para la optimización energética en el entorno construido. *Archivo de la Revista Internacional de Ciencia e Investigación*. <https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.12.1.1049>

Kumar, A. K., Sharma, S., Goyal, N., Singh, A., Cheng, X. y Singh, P. (2021). Arquitectura de edificios inteligentes segura y energéticamente eficiente con tecnología emergente IoT. *Comput. Commun.*, 176, 207–217. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2021.06.003>

Le, T.-V., Chuduc, H. y Tran, Q. X. (2024). Integración optimizada de energía renovable en edificios inteligentes: una revisión sistemática a partir de datos de Scopus. 2024 9.^a Conferencia internacional sobre la aplicación de nuevas tecnologías en edificios ecológicos (ATiGB), 397–402. <https://doi.org/10.1109/ATiGB63471.2024.10717701>

Lobodzinskiy, V., Buryk, M., Petruchenko, O. y Illina, O. (2022). Impacto del sistema de red inteligente en la red energética nacional. *Ingeniería eléctrica: economía, técnica y ecología*. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2022.259182>

Ma, Y., y Li, B. (2020). Sistema híbrido de gestión de energía renovable para hogares inteligentes en redes inteligentes. *Sustainability*, 12(5), 2117. <https://doi.org/10.3390/su12052117>

Motlagh, N. H., Khatibi, A. y Aslani, A. (2020). Hacia edificios sostenibles e independientes energéticamente utilizando Internet de las cosas. *Energies*, 13(22), 5954. <https://doi.org/10.3390/en13225954>

Muñiz, R., del Coso, R., Nuño, F., Villegas, P. J., Álvarez, D., y Martínez, J. A. (2024). Edificios inteligentes alimentados con energía solar: solución de gestión energética integrada para la sostenibilidad basada en IoT. *Electrónica*. <https://doi.org/10.3390/electronics13020317>

Muniandi, B., Maurya, PK, Bhavani, C. H., Kulkarni, S., Yellu, R. R. y Nidhi, C. (2024). Sistemas de gestión de energía impulsados por IA para edificios inteligentes. *Tecnología de sistemas de energía*. <https://doi.org/10.52783/pst.280>

Ntafalias, A., Tsakanikas, S., Skarvelis-Kazakos, S. y Papadopoulos, P. (2022). Diseño e implementación de una arquitectura interoperable para integrar sistemas heredados de edificios en sistemas escalables de gestión energética. *Ciudades inteligentes*. <https://doi.org/10.3390/smartcities5040073>

Orikpete, O., Ikemba, S. y Ewim, D. (2023). Integración de tecnologías de energía renovable en el diseño de edificios inteligentes para mejorar la eficiencia energética y la autosuficiencia. *The Journal*

of Engineering and Exact Sciences. <https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss9pp16423-01e>

Pereira, R., Barata, F., y Viveiros, C. (2020). Sistemas inteligentes aplicados a la gestión de edificios. 2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), 224–229. <https://doi.org/10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161688>

Qayyum, F., Jamil, H. y Ali, F. (2023). Una revisión de la gestión inteligente de la energía en edificios residenciales para ciudades inteligentes. Energías. <https://doi.org/10.3390/en17010083>

Rohit, Yadav, U., Patel, H. y Bhatia, T. (2024). Soluciones inteligentes para el desarrollo sostenible: un estudio de caso de construcción ecológica energéticamente eficiente con técnicas inteligentes. En la 11.ª Conferencia internacional sobre desarrollos de vanguardia en tecnología y ciencia de la ingeniería. <https://doi.org/10.62919/cbnc2381>

Sechilariu, M. (2020). Gestión inteligente de la energía en sistemas eléctricos. Ciencias Aplicadas. <https://doi.org/10.3390/app10082951>

Shen, Z., Jin, J., Zhang, T., Tagami, A., Higashino, T. y Han, Q. (2022). Computación de borde basada en datos: una estructura para sistemas de gestión de energía de edificios inteligentes. *Revista IEEE Industrial Electronics*, 16, 44–52. <https://doi.org/10.1109/mie.2021.3120235>

Shchetinin, E. (2020). Tecnologías de ahorro energético en el suministro eléctrico de edificios inteligentes mediante inteligencia artificial. *Vestnik komp'iuternyykh i informatsionnykh tekhnologii*, 29–37. <https://doi.org/10.14489/VKIT.2020.08.PP.029-037>

Yagüe García, S. (2020). Análisis del rol de las casas inteligentes en una Smart City. Trabajo Final de Máster en Ingeniería de Telecomunicación, Smart Cities, Universidad Oberta de Catalunya.

Yu, L., Qin, S., Zhang, M., Shen, C., Jiang, T. y Guan, X. (2020). Una revisión del aprendizaje de refuerzo profundo para la gestión energética de edificios inteligentes. *IEEE Internet of Things Journal*, 8, 12046–12063. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3078462>

Zhang, Q., Wu, G., Li, Z., Yang, H. y Dai, J. (2024). Programación óptima del sistema de energía integrado en el edificio considerando la interacción de la energía eléctrica y la energía térmica. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2823/1/012011>

Zhang, W. y Yue, M. (2021). La aplicación de un sistema de gestión energética de edificios basado en tecnología IoT en una ciudad inteligente. *Revista internacional de ingeniería y gestión de garantía de sistemas*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01054-6>

Zhu, Y. (2024). Aplicación de sistemas de gestión inteligente de la energía en edificios ecológicos. Lo más destacado en ciencia, ingeniería y tecnología. <https://doi.org/10.54097/35qmr186>