

***Sistemas de gestión y control de la energía en edificios Inteligentes para  
personas con discapacidad: Un estudio de revisión***

***Energy management and control systems in smart buildings for people with  
disabilities; A review study***

**Karel Llopiz Guerra**

*Universidad Central Marta Abreu de Las Villas  
Cuba  
kllopez@uclv.cu  
<https://orcid.org/0000-0002-1500-8000>*

**Marian Llópiz Urdanivia**

*Universidad Central Marta Abreu de Las Villas  
Cuba  
mllopiz@uclv.cu  
<https://orcid.org/0009-0004-2227-2100>*

**Lilibeth Peraza González**

*Universidad Central Marta Abreu de Las Villas  
Cuba  
lperaza@uclv.cu  
<https://orcid.org/0009-0009-2546-055X>*

**Loanys Ramos Lorenzo**

*Universidad Central Marta Abreu de Las Villas  
Cuba  
lorlorenzo@uclv.cu  
<https://orcid.org/0009-0005-7567-2770>*

Recibido: 24 de marzo 2026

Aceptado: 13 de junio 2026

DOI <https://doi.org/10.48204/j.centros.v15n2.a9601>



## Resumen

---

Esta revisión tuvo como propósito examinar los referentes bibliográficos de los Sistemas de Gestión Energética (BEMS) en edificaciones inteligentes, analizando su configuración estructural, tecnologías sustentadoras, marco normativo y su potencial para favorecer la inclusión de personas con discapacidad. Se desarrolló una revisión sistemática exploratoria de la literatura publicada entre 2019 y 2025, consultando fuentes especializadas y normativas internacionales como ISO 50001 e ITU-T sobre protocolos de comunicación (KNX, BACnet), IoT, IA y computación en la niebla. Los hallazgos revelan que la organización jerárquica de estos sistemas posibilita el monitoreo en tiempo real de climatización e iluminación, mientras que la integración de sensores inalámbricos y algoritmos de IA permite decisiones predictivas que optimizan el consumo, alcanzando mejoras en eficiencia energética del 20% al 40%. Se concluye que los BEMS constituyen el componente esencial de la edificación inteligente con vocación inclusiva, generando ahorros significativos y contribuyendo a la sostenibilidad urbana.

**Palabras clave:** Accesibilidad, discapacidad, edificio inteligente, energía;

## Abstract

---

This review aimed to examine the bibliographic references of Building Energy Management Systems (BEMS) in smart buildings, analyzing their structural configuration, supporting technologies, regulatory framework, and promoting the inclusion of people with disabilities. An exploratory systematic review of the literature published between 2019 and 2025 was conducted, consulting specialized sources and international standards such as ISO 50001 and ITU-T regarding communication protocols (KNX, BACnet), IoT, AI, and fog computing. The findings reveal that the



hierarchical organization of these systems enables real-time monitoring of HVAC and lighting, while the integration of wireless sensors and AI algorithms allows predictive decisions that optimize consumption, achieving energy efficiency improvements of 20% to 40%. It is concluded that BEMS constitute the essential component of intelligent buildings with an inclusive vocation, generating significant savings and contributing to urban sustainability.

**Keywords:** Accessibility, disability, smart building, energy.

## Introducción

---

En el contexto contemporáneo caracterizado por una expansión urbana sin precedentes y un incremento sostenido de las necesidades energéticas, las edificaciones se han posicionado como uno de los sectores de mayor consumo energético a escala planetaria (Gonzales-Zurita et al., 2025; Aguilar et al., 2025). Este sector es responsable de aproximadamente el 40% del consumo energético final global y de más del 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía en la Unión Europea, lo que subraya la urgencia de implementar medidas de eficacia (King y Perry, 2017; Martinopoulos et al., 2018). Esta realidad plantea desafíos considerables para la preservación del medio ambiente, la viabilidad económica y el bienestar de los habitantes en los núcleos urbanos.

Como respuesta a esta problemática, ha emergido la noción de edificio inteligente, una propuesta vanguardista que incorpora tecnologías sofisticadas para convertir los espacios construidos en ámbitos dinámicos, eficaces y adaptables a las circunstancias cambiantes. Las construcciones inteligentes se distinguen por la implementación de mecanismos automatizados que posibilitan una administración óptima de los recursos energéticos mediante el empleo de redes de sensores,



dispositivos de actuación y plataformas de regulación fundamentadas en el Internet de las Cosas (IoT) (Jia et al., 2019; Marinakis y Doukas, 2018). Se estima que un edificio inteligente con IoT integrado puede lograr ahorros del 30% al 50% en comparación con los edificios tradicionales (Collins et al., 2025).

Estos mecanismos permiten supervisar y modificar instantáneamente variables como la iluminación, la climatización (HVAC), la ventilación y el uso eléctrico, considerando las condiciones atmosféricas, la presencia de personas en los espacios y la necesidad energética del momento. De esta manera, se potencia al máximo la eficiencia en el uso de energía, se disminuye la emisión de carbono y se optimiza el bienestar y la protección de las personas que ocupan dichos espacios (Calvo et al., 2022).

Un elemento fundamental de esta transición lo constituye, la adopción de Sistemas de Gestión y Control de la Energía (SGEn o BEMS), los cuales no únicamente facilitan un seguimiento minucioso del gasto energético, sino que además emplean inteligencia artificial y procesamiento de información para efectuar determinaciones autónomas y anticipatorias (Chincheró et al., 2020; Bekdaş et al., 2025).

Tales sistemas se fundamentan en estructuras flexibles, tecnologías de intercomunicación evolucionadas (como KNX, BACnet, DALI, LoRa y PoE), y plataformas de procesamiento en la niebla o en la nube para alcanzar una administración completa, protegida y resistente (Himeur et al., 2025; Calvo et al., 2022).

Paralelamente, el progreso de las edificaciones inteligentes se encuentra armonizado con estructuras normativas internacionales tales como la ISO



50001:2018 (ISO, 2018) y las directrices de la UIT-T (ITU-T L.1370, 2018; ITU-T L.1371, 2020; ITU-T L.1380, 2019), las cuales determinan pautas para el planeamiento, funcionamiento y valoración de alternativas energéticas perdurables en contextos metropolitanos. De acuerdo con la documentación técnica de la ITU, la serie de normas ISO 50001 proporciona el marco para la implementación de sistemas de gestión energética, incluyendo requisitos para auditorías, medición del desempeño y verificación de resultados (ITU, 2016).

No obstante, la adopción de estas tecnologías avanzadas está sujeta a un panorama regulatorio complejo, especialmente en regiones como la Unión Europea, donde leyes como la Ley de IA (European Parliament and Council, 2024), el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) (European Parliament and Council, 2016), la Ley de Ciberseguridad de la UE (European Parliament and Council, 2019) y la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD) (European Parliament and Council, 2018) imponen requisitos significativos que moldean el desarrollo y la implementación de los BEMS (Sørensen y Jensen, 2025).

En los países de ingresos bajos y medios persisten brechas significativas que limitan la adopción de Sistemas de Gestión y Control de la Energía (BEMS) en edificaciones inteligentes con enfoque inclusivo. La carencia de infraestructura tecnológica básica, como redes de comunicación estables y suministro eléctrico confiable, constituye una barrera fundamental para implementar soluciones basadas en IoT y computación en la nube (Gonzales-Zurita et al., 2025).

A juicio de Llopiz et al. (2020), el proceso de inclusión en las sociedades se encamina a la reflexión y la necesidad de su puesta en práctica, poder examinarla e intentar desarrollar una cultura más inclusiva. La misma no puede desvincularse del contexto en el que se desarrolla, ni de las relaciones sociales que se establecen



y pueden sostener o no ese desarrollo. Es en la compleja interacción entre los individuos que evolucionan las convicciones, los valores comunes y donde se producen los cambios.

Adicionalmente, el alto costo de los componentes especializados, incluyendo sensores, actuadores y pasarelas de protocolos como KNX o BACnet, resulta prohibitivo en contextos con limitaciones presupuestarias (Mariano-Hernández et al., 2021). La falta de personal técnico capacitado para diseñar, instalar y mantener estos sistemas complejos agrava la situación, perpetuando un ciclo de dependencia tecnológica y exclusión. Como consecuencia, millones de personas con discapacidad en estas regiones quedan marginadas de los beneficios que ofrecen los entornos inteligentes, como la automatización adaptativa, el control multimodal y la accesibilidad universal que podrían transformar su calidad de vida y autonomía personal (Hudec y Smutný, 2024).

Resulta imperativo que la investigación y el desarrollo tecnológico continúen avanzando para generar soluciones adaptadas a las realidades de los países en vías de desarrollo, particularmente mediante productos informáticos accesibles y de bajo costo. El diseño de plataformas de código abierto basadas en estándares como KNX o BACnet podría democratizar el acceso a estas tecnologías, permitiendo su implementación con recursos locales y conocimientos técnicos básicos (BIG-EU, 2025).

El desarrollo de aplicaciones móviles intuitivas que integren inteligencia artificial para el control predictivo de iluminación y climatización, junto con interfaces multimodales adaptadas a diferentes tipos de discapacidad, representa una vía prometedora para extender estos beneficios a poblaciones desatendidas (Webber, 2025a). Asimismo, la creación de sistemas modulares escalables que permitan una



adopción progresiva según las disponibilidades económicas, junto con programas de transferencia tecnológica y capacitación, resulta esencial para que estos países puedan avanzar hacia edificaciones verdaderamente inteligentes e inclusivas.

La cooperación internacional y el compromiso con la equidad tecnológica constituyen pilares fundamentales para que el desarrollo de los BEMS no profundice las desigualdades existentes, sino que contribuya a construir entornos construidos más sostenibles, resilientes y justos para todas las personas, independientemente de su condición o lugar de residencia (Sørensen y Jensen, 2025).

El presente trabajo académico, estructurado como documento de revisión, tiene como finalidad analizar los referentes bibliográficos de los Sistemas de Gestión Energética (BEMS) en inmuebles inteligentes, analizando su arquitectura, tecnologías subyacentes, marco regulatorio y su potencial para la inclusión de personas con discapacidad. Mediante el examen de sus elementos tecnológicos, estructuras, lenguajes de interconexión y regulaciones pertinentes, se pretende ofrecer una perspectiva completa de su operación, ventajas y obstáculos.

Asimismo, se resaltan las tecnologías facilitadoras que impulsan su progreso, tales como la inteligencia artificial, el aprendizaje automatizado, las mallas de sensores sin cables y las alternativas de cómputo descentralizado (Michailidis et al., 2025; Aguilar et al., 2025). Adicionalmente, se explora una dimensión ética y social fundamental: cómo estos sistemas pueden y deben ser diseñados para apoyar a personas en situación de discapacidad o vulnerabilidad, promoviendo la accesibilidad universal y la autonomía personal (Hudec y Smutný, 2024; Webber, 2025a).



El estudio y puesta en práctica de estas tecnologías no solamente resultan imprescindibles para alcanzar metas de sostenibilidad energética, sino que además sitúan a las construcciones como elementos dinámicos en el ecosistema de las urbes inteligentes del mañana, que deben ser inclusivas y equitativas. Este trabajo tuvo como propósito examinar los referentes bibliográficos de los Sistemas de Gestión Energética (BEMS) en edificaciones inteligentes, analizando su configuración estructural, tecnologías sustentadoras, marco normativo y su potencial para favorecer la inclusión de personas con discapacidad.

## **Desarrollo**

---

Para alcanzar los objetivos propuestos en este estudio de revisión, se empleó un diseño de investigación basado en una revisión sistemática exploratoria de la literatura (scoping review). Este método es adecuado para examinar el alcance, la naturaleza y la evolución de la investigación en un área temática, identificando conceptos clave, fuentes de evidencia y lagunas de conocimiento (Page et al., 2021). El proceso se estructuró en las siguientes fases, inspiradas en los lineamientos PRISMA-ScR para garantizar la transparencia y el rigor metodológico.

La revisión se expresa en el estado del arte en cuanto a la arquitectura, tecnologías habilitadoras (IoT, IA, protocolos de comunicación), marcos normativos, beneficios, desafíos y aplicaciones para la inclusión de personas con discapacidad de los Sistemas de Gestión y Control de la Energía (BEMS) en edificios inteligentes. Se realizó una búsqueda exhaustiva en las principales bases de datos multidisciplinarias y especializadas, incluyendo Scopus, Web of Science (WoS), IEEE Xplore, ScienceDirect y MDPI (Gonzales-Zurita et al., 2025).



La búsqueda se centró en publicaciones científicas revisadas por pares (artículos de revista y actas de congresos) y literatura gris relevante, como documentos normativos de organismos internacionales (ISO, ITU-T) e informes técnicos de la industria, publicados predominantemente entre enero de 2019 y diciembre de 2025. Se utilizaron cadenas de búsqueda booleanas que combinaron términos clave como: ("Building Energy Management Systems" OR "BEMS" OR "Smart Buildings") AND ("Internet of Things" OR "IoT") AND ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning") AND ("Energy Efficiency") AND ("Communication Protocols" OR "KNX" OR "BACnet") AND ("Disability" OR "Accessibility" OR "Inclusive Design" OR "Vulnerable Groups").

Adicionalmente, se empleó la técnica de "bola de nieve" revisando las referencias bibliográficas de los artículos clave identificados (Jia et al., 2019). Los criterios de elegibilidad y selección de estudios de inclusión fueron: (a) estudios centrados en BEMS para edificios inteligentes o residenciales/comerciales; (b) investigación que aborde al menos uno de los ejes temáticos: arquitectura de sistemas, tecnologías IoT/IA, protocolos de comunicación, normativa aplicable, evaluación de eficiencia energética, o aplicaciones para accesibilidad e inclusión; (c) artículos publicados en inglés o español; (d) estudios con texto completo disponible. Se excluyeron editoriales, cartas al editor y resúmenes de conferencias sin datos sustanciales (Mariano-Hernández et al., 2021).

Para la extracción y síntesis de datos, de los estudios finalmente incluidos, se extrajo información clave en una plantilla estandarizada que incluía: autor(es), año, objetivo del estudio, tipo de BEMS/tecnología analizada, metodología, principales hallazgos y desafíos identificados. La síntesis de la información se realizó de forma narrativa y temática, agrupando los hallazgos en torno a los ejes centrales definidos en el estudio.



La concepción de edificio inteligente y sostenible (SIB) trasciende la noción de una mera construcción física. Constituye un entramado complejo e interconectado que incorpora la totalidad de los espacios interiores de la edificación, sus infraestructuras tecnológicas, y también el contexto circundante, dado que este último incide directamente en su comportamiento (ITU-T L.1370, 2018). Una construcción inteligente no únicamente debe atender las necesidades fundamentales de habitabilidad, sino que debe realizarlo de manera eficaz, protegida, ajustable y perdurable, armonizando con los propósitos de progreso urbano inteligente. El objetivo central es mejorar la eficiencia operativa, el confort de los ocupantes y la sostenibilidad ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio (Collins et al., 2025).

La cualidad inteligente de la edificación reside en su aptitud para capturar, procesar y emplear información a través de tecnologías de la información y comunicación (TIC), fundamentalmente mediante un nodo de Internet de las Cosas (IoT). Este nodo funciona como el centro neurálgico del inmueble, posibilitando la conexión y el manejo de sensores, dispositivos, sistemas de climatización, alumbrado, seguridad, abastecimiento hídrico, administración de desechos y gasto energético, entre otros aspectos (Jia et al., 2019). Mediante esta infraestructura digital, la construcción puede operar de manera autónoma, adoptar resoluciones fundamentadas en datos instantáneos, prever acontecimientos, adecuarse a modificaciones del contexto y comunicarse con otras edificaciones o con plataformas de urbe inteligente.

Desde la perspectiva energética, una construcción inteligente no únicamente consume energía, sino que puede generarla (mediante paneles fotovoltaicos o pequeñas turbinas eólicas), acumularla (en baterías o sistemas de almacenamiento térmico), administrarla eficazmente e incluso comercializar sus sobrantes a la red



eléctrica (Ahmed et al., 2022). Al disponer de información como el costo instantáneo de la electricidad, las ofertas comerciales de los suministradores y las circunstancias de utilización interna, el SIB puede adoptar determinaciones inteligentes que armonicen sostenibilidad, precio y bienestar.

Asimismo, impulsa el empleo de fuentes renovables y posibilita la incorporación de tecnologías venideras gracias a su estructura ampliable (ITU-T L.1380, 2019). En síntesis, una construcción inteligente y sostenible constituye una unidad funcional avanzada y dinámica, concebida para optimizar la calidad de existencia de sus residentes y aportar activamente a la sostenibilidad metropolitana (Möslinger et al., 2023).

La eficiencia energética constituye un soporte esencial en las construcciones inteligentes, dado que posibilita disminuir notablemente el gasto de energía sin poner en riesgo el bienestar de los ocupantes (Wilkinson et al., 2007). Su materialización mediante Sistemas de Gestión y Control de la Energía (BEMS o SGE<sub>n</sub>) no solamente perfecciona el funcionamiento de prestaciones como alumbrado, climatización y ventilación, sino que también aporta a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de emanaciones y la utilización sensata de los recursos (Chincheró et al., 2020; Gonzales-Zurita et al., 2025).

Los BEMS se definen como plataformas tecnológicas que gestionan la eficiencia energética y la sostenibilidad en los edificios mediante la integración del control de la calefacción, la refrigeración, la iluminación y otros servicios, haciendo un uso óptimo de estos recursos (Mariano-Hernández et al., 2021).

Estos sistemas, facilitados por tecnologías del Internet de las Cosas (IoT), permiten la supervisión y manejo centralizado de las instalaciones técnicas (Jia et



al., 2019). Utilizan redes de sensores y algoritmos inteligentes para adecuar el funcionamiento de los equipos considerando parámetros como ocupación, niveles de luz natural y demanda energética (Chen et al., 2021).

Investigaciones recientes indican que los sistemas híbridos de IA e IoT pueden alcanzar mejoras en la eficiencia energética que oscilan entre el 20% y el 40% (Bekdaş et al., 2025). Además, se ha reportado que la aplicación de IA para la optimización de HVAC puede lograr ahorros energéticos de hasta el 37% (Ahmadi et al., 2025), mientras que la integración de IoT e IA puede contribuir a una reducción de emisiones del 21% (Himeur et al., 2025).

Adicionalmente, la eficiencia energética se armoniza con regulaciones internacionales como la ISO 50001:2018 (ISO, 2018) y se materializa en ventajas económicas directas. La norma ISO 50001 proporciona un marco estructurado para que las organizaciones gestionen su desempeño energético, incluyendo el establecimiento de líneas base energéticas (EnB) e indicadores de desempeño energético (EnPI) para medir y verificar las mejoras (ITU, 2016).

En un marco más extenso, fomenta la conciencia del usuario sobre su consumo, impulsa el empleo de energías renovables y sitúa a la edificación como un elemento dinámico en la administración energética urbana, facilitando la integración con redes inteligentes y permitiendo una administración dinámica de la demanda energética, como la respuesta a la demanda (Uzair et al., 2023).

Los Sistemas de Gestión Energética en construcciones inteligentes se estructuran mediante una arquitectura jerarquizada que posibilita una administración eficaz y coordinada de los recursos. Esta disposición, que integra los conceptos de sistemas de control clásicos con las nuevas capacidades IoT (Calvo



et al., 2022), se organiza en tres niveles funcionales interconectados. Arquitecturas contemporáneas incorporan además paradigmas de computación en el borde y en la niebla para optimizar el procesamiento y reducir la latencia (Shi et al., 2016; Aguilar et al., 2025).

El nivel de campo constituye la capa más cercana a los procesos físicos, con sensores (presencia, temperatura, CO<sub>2</sub>, etc.) y actuadores (relés, controladores de iluminación) (Nicolau et al., 2019; Calvo et al., 2022; Maciel et al., 2017). El nivel de automatización funciona como capa intermedia de procesamiento y concentración de datos mediante controladores (PLC) y pasarelas (gateways) que traducen protocolos y realizan procesamiento en el borde (Nicolau et al., 2019; HMS Networks, 2025; Santamaria et al., 2019).

El nivel de gestión constituye la cúspide de la arquitectura para supervisión global, almacenamiento de datos y análisis estratégico, integrado con plataformas en la nube para optimización predictiva mediante IA (Nicolau et al., 2019; Himeur et al., 2025; Bekdaş et al., 2025). Esta disposición escalable posibilita una administración energética eficiente, desde el control localizado de dispositivos en el nivel de campo hasta la supervisión centralizada y el análisis avanzado en el nivel de gestión.

La interoperabilidad y el control eficiente dependen críticamente de los protocolos de comunicación (Jia et al., 2019). La combinación de protocolos abiertos es clave para crear sistemas flexibles y preparados para el futuro (BIG-EU, 2025). Entre los más relevantes se encuentran KNX, protocolo abierto estandarizado (ISO/IEC 14543) para automatización integral, ampliamente adoptado (ITU-T L.1370, 2018), cuya aplicación combinada con BACnet, Modbus y DALI ha sido demostrada para un control optimizado (Belan y Jánošíková, 2025). BACnet,



estándar abierto (ISO 16484-5) orientado a sistemas de gestión en edificaciones corporativas, compatible con IP (Jia et al., 2019; EurthTech, 2025). DALI, especializado en control de iluminación LED, permite direccionamiento individual y regulación precisa (Chincheró et al., 2020), con pasarelas actuales que facilitan su integración con KNX y BACnet (HMS Networks, 2025; KNXhub, 2025).

LoRaWAN y ZigBee son tecnologías inalámbricas de baja potencia para redes de sensores extensas (Gokulakrishnan et al., 2021) y domótica de corto alcance (Xia & Song, 2018). Modbus y M-Bus constituyen protocolos industriales robustos para automatización y medición de servicios públicos (HMS Networks, 2025; EurthTech, 2025). Estos protocolos pueden integrarse mediante pasarelas sofisticadas, permitiendo la convergencia de sistemas cableados e inalámbricos en plataformas BEMS unificadas (BIG-EU, 2025).

El IoT y las redes de sensores inalámbricos (WSN) se expresan como pilares para entornos conectados y automatizados (Jia et al., 2019; Bekdaş et al., 2025). Las WSN forman la capa de percepción crítica, integrándose con IoT mediante pasarelas que escalan soluciones locales a la nube (Calvo et al., 2022; Himeur et al., 2025). La IA y el análisis de datos se materializan mediante algoritmos adaptativos que procesan datos en tiempo real (sensores, ocupación, condiciones exteriores) para optimización energética (Fratu, 2022; Ahmadi et al., 2025). Técnicas de ML/DL (redes neuronales, LSTM) predicen necesidades (Li et al., 2023), mientras que el aprendizaje por refuerzo optimiza sistemas bajo incertidumbre (Michailidis et al., 2025).

La computación en la niebla y en el borde representan arquitecturas descentralizadas que distribuyen la inteligencia, reduciendo latencia y dependencia de la nube (Santamaria et al., 2019; Shi et al., 2016; Pan y McElhannon, 2017). El



aprendizaje federado permite entrenar modelos colaborativos preservando la privacidad de los datos (Aguilar et al., 2025). Power over Ethernet (PoE) se manifiesta mediante tecnologías como IEEE 802.3bt que suministran energía y datos por un mismo cable Ethernet, alimentando y gestionando sensores, HVAC, iluminación LED, persianas y cámaras sin instalaciones eléctricas tradicionales (Cisco, 2020). Las implementaciones modernas con software de gestión crean ecosistemas inteligentes escalables y flexibles (Cisco, 2025).

Las comunicaciones por línea eléctrica (PLC) permiten transmitir datos y energía por el cableado eléctrico existente (Janse van Rensburg et al., 2018), facilitando el control de iluminación LED sin infraestructura adicional. Técnicas avanzadas como la "diversidad de acoplamiento" mejoran el rendimiento de PLC en entornos con cargas DC variables (Janse van Rensburg et al., 2018). Estándares como G3-PLC y PRIME continúan evolucionando en este ámbito (EurthTech, 2025).

Los BEMS se alinean con la norma ISO 50001:2018 para la mejora continua del desempeño energético (ISO, 2018; Gonzales-Zurita et al., 2025). Esta norma internacional especifica requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía, con el propósito de permitir a las organizaciones seguir un enfoque sistemático para lograr la mejora continua del desempeño energético (ITU, 2016). Las recomendaciones de la ITU-T (L.1370, L.1371, L.1380) ofrecen directrices para la evaluación del desempeño sostenible, prácticas de mejora de la eficiencia energética y soluciones de energía inteligente aplicables a los edificios (ITU-T, 2018, 2020, 2019).

Los estudios realizados en la Unión Europea evidencian que la adopción de IA e IoT en BEMS está influenciada por un marco legal complejo que incluye la Ley de IA (European Parliament and Council, 2024), el GDPR (European Parliament and



Council, 2016), la Ley de Ciberseguridad (European Parliament and Council, 2019) y la EPBD (European Parliament and Council, 2018), imponiendo requisitos de protección de datos, seguridad, transparencia e interoperabilidad (Sørensen & Jensen, 2025).

La evolución de los edificios inteligentes y sus sistemas de gestión energética ofrece una oportunidad sin precedentes para avanzar hacia un entorno construido verdaderamente inclusivo. Más allá de la eficiencia y la sostenibilidad, los BEMS pueden y deben diseñarse para eliminar barreras y proporcionar autonomía, dignidad y seguridad a personas con discapacidad (física, sensorial, cognitiva) y a colectivos en situación de vulnerabilidad, como personas mayores o aquellas en riesgo de pobreza energética. Este enfoque, conocido como diseño inclusivo o universal, busca crear espacios que sean utilizables por todas las personas en la mayor medida posible, sin necesidad de adaptación o diseño especializado (Webber, 2025a).

Un área de desarrollo crítico es el diseño de interfaces de usuario (IU) accesibles que permitan a personas con diversidad funcional interactuar con los complejos sistemas del edificio. Investigaciones recientes demuestran que es posible capacitar a personas con ceguera para realizar tareas profesionales de administración de sistemas energéticos en edificios inteligentes, como la regulación de calefacción o la gestión de una planta fotovoltaica doméstica, a una velocidad comparable a la de un trabajador vidente (Hudec y Smutný, 2024).

Este estudio, basado en metodología de ciencia del diseño, valida una IU especializada que permite el monitoreo y control remoto, abriendo nuevas oportunidades laborales y garantizando la autonomía en la gestión del propio hogar (Hudec y Smutný, 2024). Los principios derivados enfatizan la velocidad, fiabilidad



y precisión del control, yendo más allá de las limitaciones de las interfaces móviles o de voz convencionales.

En esta misma línea, la flexibilidad de control es fundamental. Los sistemas basados en KNX, por ejemplo, pueden integrarse con asistentes de voz (Alexa, Google, HomeKit), permitiendo operaciones "manos libres" para gestionar iluminación, persianas, climatización y electrodomésticos (Webber, 2025a; Webber, 2025b). Para personas con movilidad o destreza reducidas, esta capacidad de controlar el entorno sin necesidad de cambiar de posición física es transformadora, como se destaca en el concepto de "vivienda asistida" de KNX UK (Webber, 2025a). La multimodalidad es clave: combinar el control por voz con interfaces táctiles personalizables (paneles murales con botones grandes o pulsadores de una sola acción) garantiza que usuarios con diferentes capacidades cognitivas, sensoriales y motoras puedan interactuar con el sistema de la forma que les resulte más cómoda y efectiva (Webber, 2025b).

La capacidad de los BEMS para recopilar y procesar datos en tiempo real permite la creación de entornos que se adaptan proactivamente a las necesidades de los ocupantes. Por ejemplo, la iluminación sensible al movimiento, el cierre automático de puertas o la activación de alertas por humo o monóxido de carbono son funciones que benefician especialmente a personas con discapacidad auditiva o visual, o a usuarios neurodivergentes que requieren predictibilidad ambiental (Webber, 2025a). La calidad del aire, el movimiento, la visibilidad de la señalización y la calidad de la luz impactan directamente en la experiencia del usuario; un sistema reactivo a estas condiciones mejora la seguridad y el bienestar (Webber, 2025b).

Un marco de trabajo innovador es el "Internet de los Espejos" (Internet-of-Mirrors, IoM), propuesto como una plataforma unificada para la vida inclusiva y la



atención sanitaria (Fatima et al., 2025). Este concepto utiliza espejos inteligentes interconectados con capacidades mejoradas de detección y comunicación para ofrecer asistencia personalizada, monitorización de la salud accesible y apoyo a la inclusión social y la rehabilitación, todo ello manteniendo la dignidad y privacidad del usuario (Fatima et al., 2025). Este tipo de desarrollos ilustran cómo la integración de IoT en el mobiliario cotidiano puede crear entornos de vida inteligentes verdaderamente inclusivos.

El impacto social de los BEMS también se manifiesta en su capacidad para mitigar la pobreza y vulnerabilidad energética. Personas mayores con deterioro cognitivo pueden, sin ser conscientes, ejecutar de forma incompleta sus actividades diarias, dejando electrodomésticos de alto consumo (como televisores o aires acondicionados) encendidos sin supervisión, lo que incrementa el gasto energético (Oyeleke et al., 2023). Un marco de trabajo consciente de la situación, que aproveche el contexto del residente, puede detectar estas actividades no supervisadas y tomar medidas correctivas (como apagar el dispositivo) para mitigar el aumento del consumo y el costo asociado, contribuyendo así a una vejez más sostenible económicamente en el hogar (Oyeleke et al., 2023).

Además, iniciativas prácticas como la colaboración entre Voltalis y Look Ahead en el Reino Unido demuestran cómo la tecnología de flexibilidad energética puede integrarse en hogares de personas con vulnerabilidad social (Warislohner, 2025). Al instalar tecnología de respuesta a la demanda y mejorar la calefacción eléctrica en viviendas sociales, se reduce la demanda en horas punta, aliviando la presión sobre la red y generando ahorros medibles para residentes que, de otro modo, enfrentarían facturas energéticas elevadas (Warislohner, 2025). Proyectos como la residencia Colisée en Badalona, que combina puertas automáticas de alta eficiencia energética y accesibilidad universal para personas con movilidad



reducida, contribuyendo a la certificación BREEAM, son ejemplos tangibles de cómo la accesibilidad y la sostenibilidad pueden y deben ir de la mano (Manusa, 2025).

Para lograr un cambio de paradigma, es esencial que la accesibilidad y la inclusión se integren en el ADN de la arquitectura y los sistemas de construcción desde las primeras fases del diseño, no como un mero cumplimiento normativo, sino como un desafío creativo que humaniza la innovación (Webber, 2025b). Firmas de arquitectura global como Foster+Partners ya cuentan con equipos dedicados al diseño inclusivo, reconociendo que la tecnología (iluminación regulable, orientación inteligente) puede mejorar significativamente la experiencia de las personas (Webber, 2025a).

Proyectos como Casa Capace en Australia, que aspira a ser un punto de referencia mundial en alojamiento especializado para discapacitados, utilizan sistemas KNX para controlar puertas automáticas, encimeras de altura regulable, persianas y escenas de iluminación, ofreciendo flexibilidad, confort y eficiencia energética, y eliminando el estigma del "diseño para discapacitados" al integrar la estética con la funcionalidad avanzada (Webber, 2025b).

A pesar de estos avances, persisten desafíos considerables. La fragmentación de datos, los problemas de interoperabilidad entre sistemas heredados, la alta demanda computacional de algunos modelos de IA, los riesgos de ciberseguridad y el alto costo de modernización de edificios existentes son barreras reales. Además, es crucial que el diseño inclusivo no sea un añadido, sino una estrategia central desde la concepción del proyecto que se construye.

## Conclusión

---

A partir de realizar el estado del arte de los Sistemas de Gestión y Control de la Energía en edificios inteligentes, se confirma su papel central como núcleo tecnológico para la optimización energética, la sostenibilidad y la inclusión para personas con discapacidad. El análisis revela una evolución significativa desde sistemas de control supervisorio básicos hacia plataformas ciber-físicas multifacéticas que integran IoT, IA y arquitecturas de computación descentralizada.

Los BEMS constituyen el núcleo de la edificación inteligente, evolucionando hacia sistemas autónomos, predictivos e integrados que generan ahorros sustanciales y promueven la sostenibilidad. Su verdadero potencial, sin embargo, reside en su capacidad para ser también sistemas inclusivos, que eliminen barreras y proporcionen autonomía y dignidad a todos los usuarios, especialmente a aquellos en situación de discapacidad o vulnerabilidad.

El futuro de estos sistemas se encamina hacia una descentralización aún mayor, con inteligencia artificial distribuida, mayor integración con redes eléctricas y un enfoque inquebrantable en la ciberseguridad, la privacidad y la equidad desde el diseño. Abordar los retos técnicos y, crucialmente, integrar los principios del diseño universal, será clave para desbloquear todo el potencial de los BEMS en la creación de entornos construidos más sostenibles, resilientes y justos en favor de personas con discapacidad.

## Referencias Bibliográficas

---

Aguilar, J., Garces-Jimenez, A., R-moreno, M. D., y García, R. (2025). Leveraging cutting-edge technologies into energy management smart buildings: An era



of revolution. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 142, 110020.  
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.110020>

Ahmadi, M., et al. (2025). Harnessing Artificial Intelligence to improve building performance and energy use: innovations, challenges, and future perspectives. *Energy Informatics*, 8, 138. <https://doi.org/10.1186/s42162-025-00589-3>

Ahmed, A., Ge, T., Peng, J., Yan, W. C., Tee, B. T., y You, S. (2022). Assessment of the renewable energy generation towards net-zero energy buildings: A review. *Energy and Buildings*, 256, 111755.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111755>

Bekdaş, G., Yücel, M., y Işıkdag. (2025). A systematic review of building energy management systems (BEMSs): *Sensors, IoT, and AI integration. Energies*, 18(24), 6522. <https://doi.org/10.3390/en18246522>

Belan, L., y Jánošíková, M. (2025). The Implementation of a Control System for an Administrative Building Using the KNX Standard. En 2025 26th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICCC65605.2025.11022888>

BIG-EU. (2025, October 20). *Open Standards and Collaboration at the Heart of Smart Building Innovation*. BACnet Interest Group Europe. <https://www.big-eu.org/news/open-standards-and-collaboration-at-the-heart-of-smart-building-innovation/>

Calvo, I., Espin, A., Gil-García, J. M., Fernández Bustamante, P., Barambones, O., y Apiñaniz, E. (2022). Scalable IoT architecture for monitoring indoor environmental quality in public buildings. *Energies*, 15(6), 2270.  
<https://doi.org/10.3390/en15062270>



- Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Setunge, S., y Shi, L. (2021). The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101212. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101212>
- Chincheró, H. F., Alonso, J. M., y Ortiz, H. (2020). LED lighting systems for smart buildings: A review. *IET Smart Cities*, 2(3), 126-134. <https://doi.org/10.1049/iet-smc.2020.0054>
- Cisco. (2020). *Network Powered Smart Buildings [White paper]*. Cisco Public.
- Cisco. (2025). *Cisco and MHT implementation guide*. [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/engineering\\_alliances/Cisco\\_MHT\\_Implementation\\_Guide.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/engineering_alliances/Cisco_MHT_Implementation_Guide.html)
- Collins, W., Perrenoud, A. J., y Posillico, J. (Eds.). (2025). *A Review of Smart Building Energy Management Systems (BEMS) to Enhance Building Sustainability*. En *Proceedings of Associated Schools of Construction 61st Annual International Conference*, 6, 342-351. <https://au.easychair.org/publications/paper/1qDQ>
- European Parliament and Council. (2016). *Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation)*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>
- European Parliament and Council. (2018). *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. Official Journal of the European Union.



[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.156.01.0075.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG)

European Parliament and Council. (2019). *Regulation (EU) 2019/881 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 on ENISA (the European Union Agency for Cybersecurity) and on information and communications technology cybersecurity certification (Cybersecurity Act)*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019R0881>

European Parliament and Council. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>

EurthTech. (2025). *Wired & optical IoT – Ethernet, KNX, fiber, and PLC*. <https://www.eurthtech.com/post/part-5-wired-optical-iot-ethernet-knx-fiber-and-plc>

Fatima, H., Alharbi, W. S., Taha, A., Imran, M. A., y Mohjazi, L. (2025). *Enabling Inclusive And Accessible Living Through The Internet Of Mirrors (IoM)*. *IEEE Internet of Things Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MIOT.2025.3584283>

Fratu, M. (2022). *Intelligent system for lighting control in smart buildings*. *RECENT*, 23(67), 55-58. <https://doi.org/10.31926/RECENT.2022.67.055>

Gokulakrishnan, P., Kumar, J. M., y Ashim, A. M. (2021). *Smart fire detection system in a large building using Lora WAN*. En 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS) (pp. 1111-1115). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9395893>



- Gonzales-Zurita, O., García-Sanz, D., y Fernández-Cardador, A. (2025). A review of methods and techniques in building energy management systems for energy efficiency enhancement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 212, 115279. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115279>
- Himeur, Y., et al. (2025). *A Scalable Cloud-Based IoT Infrastructure for Real-Time Energy Management in Smart Office Buildings*. En 2025 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAIS65605.2025.11205242>
- HMS Networks. (2025, January 31). <https://stg-nlw.hms-networks.cn/news/news-details/31-01-2025-what-s-new-at-intesis-gateway-release-2025>
- Hudec, M., y Smutný, Z. (2024). Principles of user interface design enabling people with blindness professional work in administration of energy systems in intelligent buildings comparable to sighted workers. *IEEE Access*, 12, 94176-94196. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3425330>
- ISO 50001:2018. (2018). Energy management systems — *Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- ITU. (2016). ITU-T's *Technical Reports and Specifications: Shaping smarter and more sustainable cities*. [https://www.itu.int/wftp3/Public/epub\\_shared/TSB/ITUT-Tech-Report-Specs/2016/en/ITUT-Tech-Rep-Specs-2016\\_opf\\_files/WebSearch/page1023.html](https://www.itu.int/wftp3/Public/epub_shared/TSB/ITUT-Tech-Report-Specs/2016/en/ITUT-Tech-Rep-Specs-2016_opf_files/WebSearch/page1023.html)
- ITU-T L.1370. (2018). *Sustainable and intelligent building services*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- ITU-T L.1371. (2020). *A methodology for energy efficiency assessment and improvement in buildings*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.



- ITU-T L.1380. (2019). *Smart energy solution for telecom sites*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- Janse van Rensburg, P. A., Snyders, A. J., y Ferreira, H. C. (2018). Modeling of coupling diversity for extra-low-voltage power-line communication networked LED lighting in smart buildings. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6(3), 1224-1234. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2018.2836356>
- Jia, M., Komeily, A., Wang, Y., y Srinivasan, R. S. (2019). Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, 101, 111-126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.023>
- King, J., y Perry, C. (2017). *Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings*. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). <https://www.aceee.org/research-report/a1701>
- KNXhub. (2025). *DALI gateways & integration with KNX, BACnet & IoT*. <https://www.knxhub.com/dali-gateways-integration-knx-bacnet-iot/>
- Li, Y., Kubicki, S., Guerriero, A., y Rezgui, Y. (2023). A review of artificial intelligence-based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175, 113146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113146>
- Llopiz, K., Pérez, D., y Rodríguez, B. (2020). *Preparación para la vida adulta independiente: un camino para promover la inclusión socioeducativa de escolares con necesidades educativas especiales*. *Propósitos y Representaciones*, 8(SPE3), e733. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2020.v8nSPE3.733>



- Maciel, H. S., Cardoso, I., y Vieira, M. A. M. (2017). An integrated access control and lighting configuration system for smart buildings. *Journal of Communications Software and Systems*, 13(2), 85-93.
- Manusa. (2025). *Accesibilidad y sostenibilidad para la residencia y centro de día Colisée*. <https://www.manusa.com/es-latam/projects/accesibilidad-y-sostenibilidad-para-la-residencia-y-centro-de-dia-colisee>
- Mariano-Hernández, D., Hernández-Callejo, L., Zorita-Lamadrid, A., Duque-Pérez, O., y García, F. S. (2021). A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. *Journal of Building Engineering*, 33, 101692. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101692>
- Marinakis, V., y Doukas, H. (2018). An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings. *Sensors*, 18(2), 610. <https://doi.org/10.3390/s18020610>
- Martinopoulos, G., Papakostas, K. T., y Papadopoulos, A. M. (2018). A comparative review of heating systems in EU countries, based on efficiency and fuel cost. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 687-699. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.060>
- Michailidis, P., Michailidis, I., y Kosmatopoulos, E. (2025). Reinforcement learning for optimizing renewable energy utilization in buildings: A review on applications and innovations. *Energies*, 18(7), 1724. <https://doi.org/10.3390/en18071724>
- Möslinger, M., Ujaczki, É., y Feher, J. (2023). Circular economy and waste management to empower a climate-neutral urban future. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138523>



- Oyeleke, R. O., Parekh, P., DiCuffa, S., y Quinlan, A. (2023). *Situation-Aware Framework for Energy Saving in Unattended Activities of Daily Living in Smart Home Environments*. En K. Jongbae, L. Seungbok, M. Mokhtari, H. Aloulou, & B. Abdulrazak (Eds.), *\*Digital Health Transformation, Smart Ageing, and Managing Disability - 20th International Conference, ICOST 2023, Proceedings\** (Vol. 14237 LNCS, pp. 38-50). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43950-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43950-6_4)
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pan, J., y McElhannon, J. (2017). Future Edge Cloud and Edge Computing for Internet of Things Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 439-449. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2767608>
- Santamaria, A. F., Raimondo, P., Tropea, M., De Rango, F., y Aiello, C. (2019). An IoT surveillance system based on a decentralised architecture. *Sensors*, 19(7), 1469. <https://doi.org/10.3390/s19071469>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., y Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637-646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Sørensen, M. T., y Jensen, B. K. (2025). Impact of EU Laws on the Adoption of AI and IoT in Advanced Building Energy Management Systems: A Review of Regulatory Barriers, *Technological Challenges, and Economic Opportunities*. *Buildings*, 15(3), 2160. <https://doi.org/10.3390/buildings15032160>
- Uzair, M., Hassan, M. U., y Shah, S. F. A. (2023). A multi-criteria decision model to support sustainable building energy management system with intelligent

automation. *Energy and Buildings*, 278, 112627.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112627>

Warislohner, F. (2025, November 26). *A fairer energy transition: Voltalis partners with Look Ahead* [Post de LinkedIn]. LinkedIn.  
[https://www.linkedin.com/posts/lookahead\\_voltalis-x-look-ahead-activity-7399832843691954176-h0p-](https://www.linkedin.com/posts/lookahead_voltalis-x-look-ahead-activity-7399832843691954176-h0p-)

Webber, G. (2025a, November 14). *KNX for Architects: the engine behind inclusive and accessible spaces*. *KNXtoday*.  
<https://www.knxtoday.com/2025/11/56343>

Webber, G. (2025b, November 14). *KNX para arquitectos: el motor de los espacios inclusivos y accesibles*. *KNXtoday*.  
<https://www.knxtoday.com/2025/11/56415/knx-para-arquitectos-el-motor-de-los-espacios-inclusivos-y-accesibles.html?lang=es>

Wilkinson, P., Smith, K. R., Beevers, S., Tonne, C., y Oreszczyn, T. (2007). Energy, energy efficiency, and the built environment. *The Lancet*, 370(9593), 1175-1187. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61255-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61255-0)

Xia, M., y Song, D. (2018). Application of wireless sensor network in smart buildings. En X. Gu, G. Liu, & B. Li (Eds.), *Machine Learning and Intelligent Communications. MLICOM 2017. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering* 226, 315-325). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73564-1\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73564-1_31)