


Sistemas de Gestión Energética ISO 50001 en
Instituciones de Educación Superior: una Revisión
Sistemática y Análisis Bibliométrico
ISO 50001 Energy Management Systems in Higher Education Institutions:
A Systematic Review and Bibliometric Analysis
Sistemas de Gestão Energética ISO 50001 em Instituições de Ensino
Superior: Uma Revisão Sistemática e Análise Bibliométrica

Francisco Javier Bedoya-Rodríguez ¹ Alejandro Hurtado Sánchez ²
Josselyn Sandoval Torres ³ Luisa Maria Sánchez Ararat ⁴



Fecha de entrega: 27/09/2025
Fecha de evaluación: 20/01/2026
Fecha de aprobación: 09/04/2026


Citar como: Bedoya Rodríguez, F. J., Hurtado Sánchez, A., Sandoval Torres, J., & Sánchez Ararat, L. M. (2026). Sistemas de Gestión Energética ISO 50001 en Instituciones de Educación Superior: una Revisión Sistemática y Análisis Bibliométrico. *SIGNOS, investigación En Sistemas De gestión*, 18(1), 98-117.


 <https://doi.org/10.15332/24631140.11357>

Resumen


La adopción de la norma ISO 50001 en la educación superior impulsa la eficiencia energética y la sostenibilidad, ya que permite a las universidades reducir su impacto ambiental, optimizar recursos y alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El objetivo de esta investigación es identificar y analizar el estado de la producción académica sobre los sistemas de gestión energética basados en la norma ISO 50001 en instituciones

de educación superior, mediante una revisión sistemática y análisis bibliométrico de publicaciones científicas. Asimismo, se busca identificar tendencias, colaboraciones académicas, mejores prácticas y retos en la implementación de estos sistemas en el contexto universitario. Los resultados demuestran que Estados Unidos lidera la producción con 497 documentos, seguido por China e Italia, mientras que Europa destaca en la aplicación práctica de la ISO 50001 en campus universitarios. El análisis de 4257 documentos y la revisión detallada de 40 estudios revelan que la eficiencia energética es el tema predominante, lo que confirma que constituye

¹Fundación Universitaria de Popayán, Colombia.
Correo: francisco.bedoya@docente.fup.edu.co.  0000-0002-6938-903X.

²Fundación Universitaria de Popayán, Colombia.
Correo: alejandro.hurtado@docente.fup.edu.co.  0000-0002-6104-6921.

³Fundación Universitaria de Popayán, Colombia.
Correo: josselyn.sandoval@mail.fup.edu.co.  0009-0006-6229-4114.

⁴Fundación Universitaria de Popayán, Colombia.
Correo: luisa.sanchez@estudiante.fup.edu.co.  0009-0003-9440-1955.

el objetivo central de la gestión energética bajo la ISO 50001. Se identifican enfoques regionales diferenciados: Europa enfatiza modelos certificados; Asia prioriza la innovación tecnológica; y América Latina avanza en la gestión de residuos. Aunque persisten desafíos estructurales y financieros, la integración de tecnología, gestión y formación permite lograr reducciones tangibles en el consumo energético y en las emisiones. La acción conjunta y el fortalecimiento del rol educativo de las instituciones de educación superior son fundamentales para acelerar la transición hacia instituciones resilientes y comprometidas con la sostenibilidad.

Palabras clave:

gestión energética ISO 50001, eficiencia energética, sostenibilidad, educación superior, PRISMA, análisis bibliométrico.

Abstract

The adoption of the ISO 50001 standard in higher education promotes energy efficiency and sustainability, enabling universities to reduce their environmental impact, optimize resources, and align with the Sustainable Development Goals. The objective of this research is to identify and analyze the state of academic production on energy management systems based on the ISO 50001 standard in higher education institutions through a systematic review and bibliometric analysis of scientific publications. It also aims to identify trends, academic collaborations, best practices, and challenges in the implementation of these systems within the university context. The results indicate that the United States leads the scientific output with 497 documents, followed by China and Italy, while Europe stands out in the practical implementation of ISO 50001 on university campuses. The analysis of 4257 documents and the detailed review of 40 studies reveal that energy efficiency is the predominant theme, confirming that it constitutes the core objective of ISO 50001-based energy management. Distinct regional approaches were identified: Europe emphasizes certified models; Asia prioritizes technological innovation; and Latin America shows progress in waste management. Although structural and financial challenges persist, the integration of technology, management, and training enables tangible reductions in energy

consumption and emissions. Joint action and the strengthening of the educational role of higher education institutions are essential to accelerate the transition toward resilient institutions committed to sustainability.

Keywords:

ISO 50001 energy management, energy efficiency, sustainability, higher education, PRISMA, bibliometric analysis.

Resumo

A adoção da norma ISO 50001 no ensino superior promove a eficiência energética e a sustentabilidade, permitindo que as universidades reduzam o seu impacto ambiental, otimizem recursos e se alinhem com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O objetivo desta investigação é identificar e analisar o estado da produção acadêmica sobre sistemas de gestão de energia baseados na norma ISO 50001 em instituições de ensino superior, através de uma revisão sistemática e de uma análise bibliométrica de publicações científicas. Pretende-se também identificar tendências, colaborações acadêmicas, melhores práticas e desafios na implementação destes sistemas no contexto universitário. Os resultados indicam que os Estados Unidos lideram a produção científica com 497 documentos, seguidos pela China e Itália, enquanto a Europa se destaca na implementação prática da ISO 50001 nos campus universitários. A análise de 4257 documentos e a revisão detalhada de 40 estudos revelam que a eficiência energética é o tema predominante, confirmando que constitui o objetivo central da gestão energética baseada na ISO 50001. Foram identificadas abordagens regionais distintas: a Europa enfatiza modelos certificados; a Ásia prioriza a inovação tecnológica; e a América Latina mostra progressos na gestão de resíduos. Embora persistam desafios estruturais e financeiros, a integração da tecnologia, da gestão e da formação permite reduções tangíveis no consumo de energia e nas emissões. A ação conjunta e o reforço do papel educativo das instituições de ensino superior são essenciais para acelerar a transição para instituições resilientes e empenhadas na sustentabilidade.

Palabras-clave:

gestão energética ISO 50001, eficiência energética, sustentabilidade, ensino superior, PRISMA, análise bibliométrica.

Introducción

El desarrollo sostenible demanda transformaciones profundas en las Instituciones de Educación Superior (IES), las cuales deben implementar modelos eficientes y Sistemas de Gestión Energética (SGE) alineados con estándares internacionales, como la norma ISO 50001 de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) (Garrido-Yserte & Gallo-Rivera, 2020; Munaro & John, 2024). Estas estrategias permiten a las universidades incorporar políticas sostenibles, reducir su huella ambiental y optimizar el uso de los recursos, posicionándolas como agentes claves en la transición hacia campus resilientes (Salcedo et al., 2023; Vargas et al., 2019). Ahora bien, las IES son organizaciones de alto metabolismo que demandan una cantidad significativa de energía para mantener sus actividades académicas, investigativas y administrativas (Ramísio et al., 2024).

La aplicación de estándares como la ISO 50001 en las IES permite medir y optimizar el consumo energético al considerar variables operacionales clave, tales como las condiciones climáticas, las características constructivas, la ocupación de los espacios y las actividades académico-administrativas, lo que facilita diagnósticos energéticos más precisos (Batlle et al., 2020). Esta perspectiva operacional se complementa con un enfoque estratégico orientado a la sostenibilidad, en el cual los indicadores de desempeño energético actúan como herramientas fundamentales para gestionar procesos y alinear las acciones institucionales con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo mejoras continuas en los ámbitos ambiental y económico (Abad-Segura & González-Zamar, 2021; Salcedo et al., 2023). La evidencia empírica demuestra que la implementación de la ISO 50001 genera beneficios tangibles en términos de reducción de consumo energético, mejora de la eficiencia operativa y fortalecimiento de una cultura organizacional comprometida con la sostenibilidad (El Majaty et al.,

2023; Quispe et al., 2025; Wintaco et al., 2022).

Es importante precisar que la norma ISO 50001 es un estándar internacional que establece los requisitos para implementar, mantener y mejorar un SGE, cuyo objetivo principal es mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo (Kouaho et al., 2024). En este sentido, la gestión energética constituye el concepto amplio que engloba todas las actividades organizacionales dirigidas a optimizar el uso de la energía; la eficiencia energética representa el resultado esperado de dichas actividades, reducir el consumo manteniendo o mejorando los servicios (Mishra & Singh, 2023); y la ISO 50001 es la herramienta normativa que estandariza la forma de implementar un SGE (El Majaty et al., 2023). A lo largo de este documento, se emplea el término “SGE ISO 50001” como concepto integrador, reconociendo que la norma es el medio y la eficiencia energética es el fin.

La preocupación por el impacto ambiental de las universidades ha impulsado la adopción de energías renovables y el desarrollo de programas de eficiencia energética que evalúan el tipo de fuente, su costo y su rendimiento (Mendez-Castillo et al., 2022; Rodgers, 2021). Asimismo, el uso de indicadores específicos permiten medir el consumo energético, la generación de residuos y las emisiones, lo que facilita la formulación de planes de conservación y la optimización financiera (Lo-Iacono-Ferreira et al., 2018). De igual forma, la gestión de residuos y el reciclaje constituyen elementos clave para promover la sostenibilidad, la economía circular y el bienestar comunitario, especialmente en países en desarrollo (Botello-Álvarez et al., 2018). Finalmente, el cambio climático exige reducir la dependencia de combustibles fósiles e impulsar el uso de energías alternativas (Borowski, 2022; Erdoğan et al., 2025; Nowotny et al., 2018).

En las IES, la adopción de fuentes renovables y de SGE constituye un paso imprescindible para disminuir su huella ambiental y modelar prácticas sostenibles que impacten positivamente a la comunidad académica (Altassan, 2023). Las universidades, como centros de formación y generación de conocimiento, desempeñan un rol estratégico en la transición energética al implementar estándares como la ISO 50001, que optimizan el consumo energético en los campus universitarios

y contribuyen a la formación de profesionales conscientes de la importancia de la eficiencia energética (Batlle et al., 2020; Munaro & John, 2024).

Aunque existe una creciente literatura sobre la implementación de la ISO 50001 en diversos sectores organizacionales, industrial, manufacturero y de servicios, persiste un vacío significativo en la investigación que examine de manera sistemática cómo las IES adoptan, implementan y obtienen beneficios de este estándar internacional (Quispe et al., 2025). En este contexto, el objetivo de esta investigación es identificar y analizar el estado de la producción académica sobre los SGE basados en la norma ISO 50001 en IES, mediante una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de publicaciones científicas. Se busca, además, identificar tendencias, colaboraciones académicas, mejores prácticas y retos asociados a la implementación de estos sistemas en el ámbito universitario.

Este análisis permitirá identificar las brechas de conocimiento existentes, caracterizar el estado del arte en la implementación de la ISO 50001 en IES y proporcionar una base empírica para el desarrollo de marcos teóricos y prácticos adaptados al contexto específico de la educación superior.

El documento se estructura en cinco secciones principales: una Introducción, que contextualiza la problemática de la gestión energética ISO 50001 en la educación superior; una Metodología, que describe el enfoque empleado; unos Resultados, que presentan los hallazgos organizados por regiones geográficas; una Discusión, donde se analizan los enfoques diferenciados identificados; y unas Conclusiones, que sintetizan las implicaciones para la gestión energética en las instituciones de educación superior.

Metodología

El procedimiento de exploración y selección de la información científica se realizó mediante el enfoque PRISMA (por sus siglas en inglés, Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021), lo que garantiza la transparencia en todas las fases de la revisión

sistemática. La investigación se fundamentó en una revisión bibliográfica exhaustiva combinada con un análisis bibliométrico (Donthu et al., 2021; Poveda-Orjuela et al., 2019), lo cual permitió identificar tendencias y patrones relevantes en eficiencia energética y sostenibilidad en el ámbito de la educación superior.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos publicados entre 2015 y 2024, en español o inglés, que abordaran la eficiencia energética, la sostenibilidad o la norma ISO 50001 en el contexto de la educación superior. Se consideraron artículos originales en revistas científicas, ponencias de conferencias, capítulos de libro, revisiones y reseñas de conferencias de acceso abierto, clasificados en las áreas de Ingeniería, Energía y Ciencias Medioambientales. Se excluyeron editoriales y otras publicaciones que no presentaran datos científicos relevantes.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó el 18 de febrero de 2025 en las bases de datos Scopus y ScienceDirect, con el objetivo específico de recuperar documentos relacionado con SGE ISO 50001 en IES. Para garantizar una cobertura exhaustiva, se aplicó inicialmente una ecuación de búsqueda amplia: (“energy efficiency” OR “sustainable energy” OR “energy management system” OR “ISO 50001” OR “eficiencia energética”) AND (“higher education” OR education OR universities OR “educación superior”).

En ecuación inicial recuperó 9528 documentos sin filtros. Posteriormente, los resultados fueron refinados mediante la aplicación de los criterios de selección establecidos previamente: (1) documentos publicados entre 2015 y 2024; (2) idiomas español e inglés; (3) categorización en las áreas de Ingeniería, Energía y Ciencias Medioambientales; y (4) exclusión de editoriales y publicaciones sin datos científicos relevantes. Tras esta etapa de filtrado, se obtuvo un total de 4257 documentos, que constituyeron la base del análisis bibliométrico, permitiendo identificar tendencias, patrones de publicación y colaboraciones académicas a nivel global.

Posteriormente, mediante una revisión sistemática

rigurosa que incluyó el análisis de títulos, resúmenes y la lectura completa de los textos, se seleccionaron 40 documentos que abordaban específicamente la implementación, evaluación o mejora de SGE ISO 50001 en contextos de IES. Estos 40 estudios conformaron la base de la revisión sistemática y permitieron profundizar en hallazgos específicos, casos de aplicación y desafíos asociados a la adopción de la ISO 50001 en universidades.

De este modo, el enfoque dual complementario permitió: (a) mapear tendencias y colaboraciones académicas globales en gestión energética a través del análisis bibliométrico de 4257 documentos; y (b) identificar y sintetizar evidencia específica sobre la ISO 50001 en IES mediante la revisión sistemática de 40 estudios seleccionados.

Selección de estudios

El proceso se desarrolló en tres etapas: revisión de títulos, análisis de resúmenes y lectura completa de los textos, con el fin de asegurar su coherencia con los objetivos del estudio. La figura 1 presenta el diagrama de flujo PRISMA aplicado para la selección de estudios.

Extracción y procesamiento de datos

Los artículos seleccionados fueron sistematizados en una matriz de análisis que incluyó variables como título, DOI (por sus siglas en inglés, Digital Object Identifier), revista, país, año de publicación, cuartil y tipo de organización estudiada. Asimismo, se registraron los métodos utilizados, las aplicaciones de la ISO 50001 y los enfoques de sostenibilidad abordados. Esta estructuración permitió identificar patrones y tendencias clave en la producción académica analizada.

Evaluación de calidad

La calidad de los estudios se evaluó con base en el cuartil de la revista y en la pertinencia temática de sus hallazgos en relación con los objetivos de la investigación. Para el análisis bibliométrico se utilizó el software VOSviewer, el cual permitió identificar autores influyentes, palabras clave recurrentes y redes de colaboración académica.

Evaluación de calidad

La calidad de los estudios se evaluó con base en el cuartil de la revista y en la pertinencia temática de sus hallazgos en relación con los objetivos de la investigación. Para el análisis bibliométrico se utilizó el software VOSviewer, el cual permitió identificar autores influyentes, palabras clave recurrentes y redes de colaboración académica.

Resultados y discusión

La sección de resultados y discusión presenta, a partir de un análisis sistemático y bibliométrico realizado en Scopus y ScienceDirect, las tendencias globales en investigación, colaboración y aplicación de SGE ISO 50001 en universidades, destacando la manera en que estos sistemas promueven la eficiencia energética y la sostenibilidad institucional. Se identifican los países, autores y enfoques más influyentes, así como las principales estrategias implementadas, lo que permite reconocer avances y retos en la gestión energética dentro de la educación superior.

Como complemento, se exponen los hallazgos derivados de la revisión sistemática sobre la implementación de SGE ISO 50001 en IES a nivel global. El análisis se organiza por regiones geográficas con el propósito de examinar cómo las instituciones adoptan, implementan y optimizan sistemas de gestión energética normalizados. En particular, se analiza el rol de la ISO 50001 como marco de referencia para la estandarización de procesos energéticos, sus aplicaciones prácticas en campus universitarios y los resultados reportados en términos de eficiencia energética y optimización del consumo.

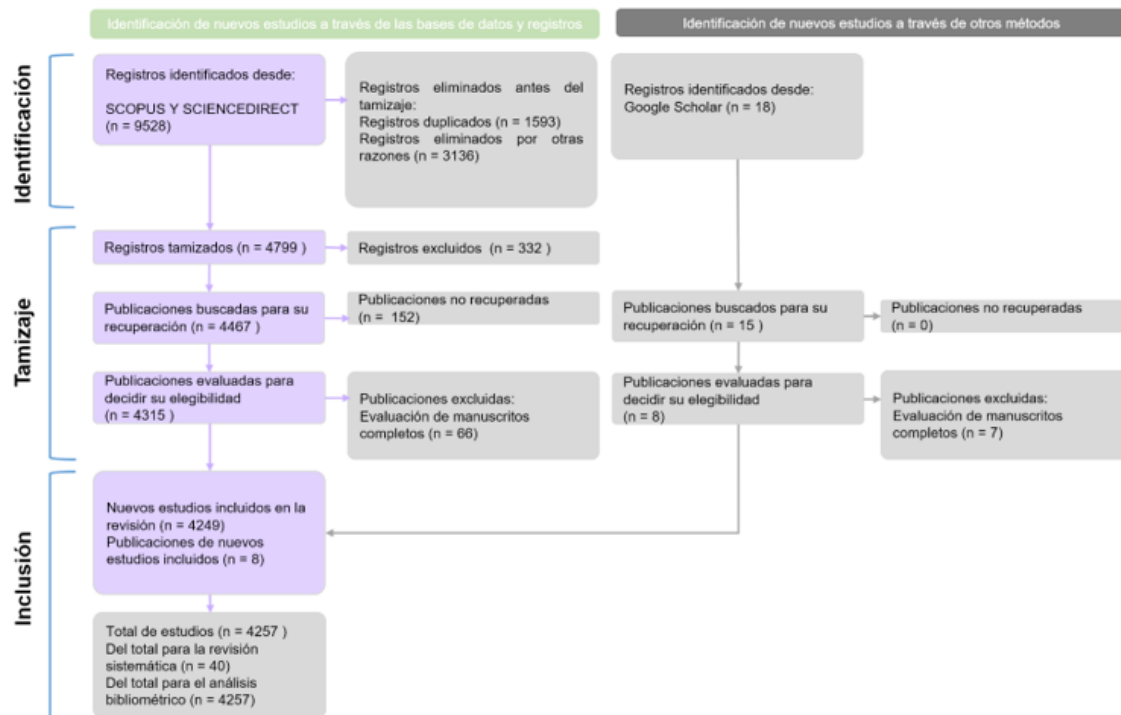
Resultados de la revisión sistemática

Europa: implementación de ISO 50001 y optimización del consumo energético en IES

La norma ISO 50001 ha constituido un marco integral para la gestión energética en las IES

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA de la revisión sistemática y del análisis bibliométrico



Fuente: adaptado de Page, et al.,(2021).

Europeas, al permitir la estandarización de procesos de optimización y consumo energético mediante la integración de modelos de madurez con el ciclo Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) (Batouta et al., 2023; Jovanović & Filipović, 2016). No obstante, la implementación de SGE ISO 50001 en este contexto enfrenta barreras significativas, tales como los altos costos iniciales, la escasez de recursos, la resistencia organizacional y el incremento de los precios de la energía, factores que, paradójicamente, también han impulsado el desarrollo de estrategias innovadoras de optimización (Almasri et al., 2024; Cooremans & Schöenberger, 2019; Neusel & Hirzel, 2022).

En el ámbito europeo, las universidades que han implementado SGE ISO 50001 reportan reducciones significativas en el consumo energético y en las emisiones. Sin embargo, persisten deficiencias asociadas a la limitada integración de factores de

ingeniería y análisis de rendimiento, lo que evidencia la necesidad de realizar evaluaciones más detalladas y desarrollar modelos predictivos que permitan identificar prácticas más eficientes en el contexto académico (Ajmi et al., 2023; Bartolucci et al., 2024).

De igual manera, la educación desempeña un papel fundamental en la transición hacia un modelo energético sostenible. La reducción de la huella de carbono en las universidades y la promoción de energías limpias no solo impactan la gestión institucional, sino que también contribuyen a la formación de generaciones conscientes mediante proyectos prácticos que fomentan decisiones responsables en el uso de la energía (Z. Li et al., 2021; Mälkki & Alanne, 2017). En este sentido, la educación superior cumple una función estratégica en la sostenibilidad al implementar SGE ISO 50001 que responden a necesidades actuales y

futuras, fortalecen la gestión energética institucional y apoyan el cumplimiento de los objetivos de mitigación del cambio climático (Shawe et al., 2019).

Asia: aplicación de sistemas de gestión energética en campus universitarios

En las IES asiáticas, la implementación de SGE ha sido evaluada mediante metodologías avanzadas orientadas a optimizar el consumo energético. En la Universidad de Ciencias del Norte de China, las simulaciones de gestión energética evidenciaron un alto potencial de ahorro a través de medidas técnicas, gestión eficiente y cambios en el comportamiento de los usuarios (Han et al., 2015). De igual manera, se desarrolló un modelo energético específico para superar la falta de datos normalizados en campus universitarios chinos, lo que permitió proponer estrategias de gestión energética más eficientes en instituciones educativas (Qu et al., 2015). Asimismo, un análisis del comportamiento térmico en edificios universitarios reveló patrones operativos relevantes y sugirió mejoras en los sistemas de control energético, tales como alumbrado eficiente y control solar, elementos clave para la optimización del consumo (Ge et al., 2018).

La gestión energética en complejos universitarios asiáticos enfrenta retos significativos debido a la alta demanda de energía en espacios como bibliotecas y residencias estudiantiles, lo que ha impulsado la adopción de sistemas de gestión orientados a reducir el consumo mediante tecnologías inteligentes (Liu & Ren, 2020). En este contexto, la incorporación de dispositivos inteligentes en residencias promueve un uso más responsable y eficiente de la energía eléctrica (Zhou et al., 2021), mientras que los sistemas modernos de iluminación desempeñan un papel determinante en la optimización del consumo y en la generación de ahorros energéticos en los campus (Zhao et al., 2021). Particularmente en China, se prioriza la eficiencia energética desde un enfoque integral vinculado al desarrollo sostenible en las universidades (Du et al., 2020; Zhu et al., 2021).

En consecuencia, el análisis de la gestión energética en campus chinos evidencia variaciones significativas en el consumo y las emisiones, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias integradas de

gestión energética orientadas a la sostenibilidad local (R. Li et al., 2022). Además, los estudios sobre la huella de carbono en IES chinas indican que la mayor proporción de emisiones proviene del consumo eléctrico; por ello, la implementación de SGE se plantea como una estrategia clave para su reducción sostenida a largo plazo (Wang et al., 2023).

África: potencial de los sistemas de gestión energética y limitaciones estructurales

En África, la implementación de SGE ISO 50001 en IES enfrenta desafíos estructurales asociados a una infraestructura energética insuficiente, limitaciones de financiación y ausencia de políticas claras que faciliten su adopción (Mulugetta et al., 2022). Sin embargo, algunos avances evidencian el potencial de estos sistemas para optimizar la gestión energética institucional.

En Marruecos, se ha priorizado la eficiencia energética dentro de las estrategias nacionales de desarrollo mediante la implementación del sistema de gestión energética ISO 50001, orientado a la reducción de emisiones y a la mejora del desempeño energético institucional (El Majaty et al., 2023). De manera similar, en Egipto, la adopción de la norma ISO 50001 ha impulsado la toma de decisiones dirigidas a la optimización de los sistemas energéticos y al uso más eficiente de la energía en contextos institucionales (Kshanh & Tanaka, 2024).

América del Norte: modelos de implementación y reducción del consumo en IES

En Estados Unidos, la implementación de proyectos de gestión energética en IES ha permitido evaluar su impacto en la reducción del consumo y en la generación de ahorros operacionales (Özkan et al., 2023). En la Universidad Estatal de Texas, se analizaron proyectos de energía sostenible y se evidenció que la sustitución del sistema de iluminación mediante estrategias de optimización energética produjo el mayor beneficio en términos de ahorro (Mohammadalizadehkorde & Weaver, 2020).

En este contexto, mejora el desempeño energético a

través de sistemas de gestión normalizados resulta fundamental para enfrentar los desafíos del cambio climático y promover la sostenibilidad en las IES. El uso racional de la energía impacta tanto la eficiencia económica como el desempeño ambiental institucional, lo que exige estrategias orientadas a la racionalización del consumo y a la optimización de los recursos disponibles (Chen et al., 2024; Kiehle et al., 2023).

América Latina: implementación diferenciada de la gestión energética en IES

En América Latina, la sostenibilidad y la implementación de SGE han adquirido creciente relevancia en la educación superior, contribuyendo al fortalecimiento de la cultura organizacional y al fomento de prácticas institucionales más responsables (Leal Filho et al., 2021). En el contexto empresarial suramericano, se evidencian esfuerzos orientados a la adopción de SGE que aborden el cambio climático y la gestión eficiente de los recursos. Sin embargo, estos procesos aún se encuentran en fases iniciales, debido, en parte, a la escasez de estudios normalizados que respalden su consolidación y limiten el avance hacia una gestión energética integral (Hluszko et al., 2024).

En Brasil, diversas universidades han impulsado la implementación de SGE y de sistemas de gestión ambiental, enfrentando retos asociados a la integración eficiente de sistemas energéticos basados en la ISO 50001 (Bizerril et al., 2018; Moreira et al., 2018). No obstante, otras instituciones aún carecen de recursos financieros o de incentivos gubernamentales que faciliten la adopción de SGE normalizados (Vieira et al., 2018). En Chile, la implementación de estándares energéticos en edificios universitarios enfrenta desafíos derivados de la ausencia de criterios claros para optimizar el consumo de energía y reducir la huella de carbono. En este sentido, se destaca la necesidad de incorporar análisis de ciclo de vida en la toma de decisiones relacionadas con la gestión energética institucional (Kairies-Alvarado et al., 2021).

Colombia: gestión energética ISO 50001 en IES

Este apartado examina cómo las IES en Colombia abordan la gestión energética normalizada y su compromiso con el desarrollo sostenible mediante iniciativas operacionales, políticas institucionales y la adopción de estándares como la ISO 50001 (Quispe et al., 2025). A diferencia de otros países latinoamericanos, en Colombia el análisis de los SGE en IES reviste especial relevancia debido a sus condiciones socioeconómicas, geográficas y sectoriales particulares (Ramírez-Tovar et al., 2021).

En este contexto, la implementación de SGE ISO 50001 en la IES colombianas constituye un pilar estratégico para la optimización de los recursos energéticos, la reducción de costos operacionales y la adopción de prácticas sostenibles con impacto positivo en la comunidad académica (Leal Filho et al., 2021). No obstante, aunque existen estudios nacionales sobre consumo energético y emisiones de CO₂ en sectores productivos del país (Plazas-Niño et al., 2023), las universidades representan un caso específico en el que la implementación de SGE puede contribuir significativamente al cumplimiento de objetivos institucionales de sostenibilidad.

En este sentido, se han identificado investigaciones que analizan la relación entre consumo energético y emisiones de CO₂ en contextos colombianos, binomio fundamental para comprender el aumento de gases de efecto invernadero y diseñar estrategias de gestión energética adaptadas a la realidad nacional (Patiño et al., 2021). Adicionalmente, estudios regionales han evidenciado que los sectores de vivienda y transporte concentran los mayores niveles de consumo energético, lo que resalta la importancia de que las IES implementen SGE como modelos replicables de optimización y sostenibilidad para otros sectores (Altamar et al., 2024).

Resultados del análisis bibliométrico

En la tabla 1 y la figura 2 se presenta la producción científica por país en materia de SGE ISO 50001 en IES. Los datos reflejan investigaciones orientadas a la implementación, evaluación y mejora de sistemas de gestión energética en campus universitarios, así como su impacto en la sostenibilidad del sector de educación

Tabla 1
Participación geográfica de la investigación científica por país

País	Docs	Citaciones	Fuerza total de enlace
Estados Unidos	497	10493	223
China	330	10517	195
Italia	330	7288	171
Reino Unido	227	7062	246
España	182	3974	167
Alemania	176	2540	166
India	139	4248	67
Brasil	131	1753	84
Federación Rusa	109	513	31
Turquía	93	1675	35

Fuente: elaboración propia con base en metadatos de Scopus y ScienceDirect en VOSviewer.

superior.

Estados Unidos lidera la producción con 497 documentos y 10 493 citas, ubicándose en segundo lugar en fuerza total de enlace (223), lo que evidencia no solo un alto volumen de publicaciones, sino también una sólida red de colaboración académica internacional. Por su parte, China e Italia muestran una participación significativa en términos de número de documentos (330 cada uno); sin embargo, presentan una menor conectividad en comparación con el Reino Unido, que registra la mayor fuerza total de enlace (246), lo que indica una posición estratégica en redes de cooperación científica.

El liderazgo de Estados Unidos puede asociarse a políticas institucionales orientadas a la sostenibilidad, la adopción de energías renovables y una consolidada producción científica en gestión energética (Mohammadalizadehkorde & Weaver, 2020). En contraste, países como India, Brasil, la Federación Rusa y Turquía presentan menor volumen de producción y conectividad; no obstante, sus aportes en sostenibilidad y eficiencia energética resultan relevantes dentro de sus contextos regionales.

En conjunto, el análisis bibliométrico confirma que Estados Unidos concentra la mayor producción científica sobre gestión energética en IES y mantiene relaciones estratégicas que facilitan la transferencia de conocimiento entre universidades. Las redes de investigación identificadas permiten reconocer a los países más influyentes en la evolución y aplicación de la ISO 50001, particularmente en el ámbito de la eficiencia energética universitaria.

El análisis bibliométrico de la autoría en el campo de los SGE ISO 50001 en educación superior evidencia una concentración significativa de la producción científica en torno a F. Delfino, quien lidera con 31 documentos publicados y una fuerza total de enlace de 128, posicionándose como el investigador más prolífico y con mayor nivel de colaboración en esta temática (tabla 2 y figura 3).

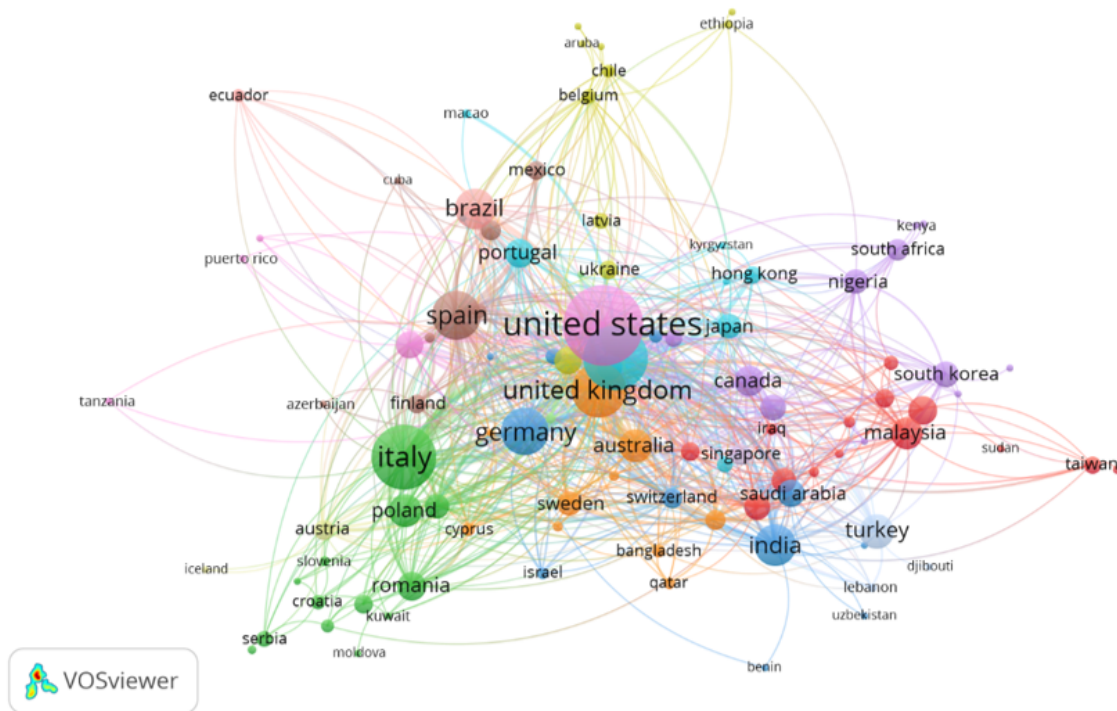
Le siguen, con una participación destacada, S. Bracco (17 documentos y 58 enlaces) y un grupo de autores con productividad moderada, entre los que predominan investigadores de origen asiático como Li, Y. (16 documentos y 33 enlaces), Li, J. (15 documentos y 29 enlaces), y Wang, Y. y Wang, Z. (15 documentos cada uno). Este patrón sugiere una presencia relevante de la investigación asiática en el desarrollo del campo.

Otros autores influyentes incluyen Robba, M. (14 documentos y 67 enlaces) y Liu, Y. (14 documentos y 23 enlaces), quienes contribuyen de manera significativa a las redes de colaboración científica. La red de coautoría visualizada mediante VOSviewer permite identificar patrones estructurados de cooperación entre investigadores, evidenciando que la producción científica en gestión energética institucional no responde a esfuerzos aislados, sino a dinámicas colaborativas multidisciplinares que fortalecen la consolidación y expansión del conocimiento en este ámbito.

El análisis bibliométrico muestra que *eficiencia energética* es el tema predominante (2390 ocurrencias y 20 427 enlaces), seguido por *utilización de la energía y desarrollo sostenible*, lo que refleja un enfoque centrado en los aspectos operativos y de sostenibilidad asociados a la implementación de la ISO 50001 en IES (tabla 3 y figura 4).

Figura 2

Red de colaboración entre países



Fuente: elaboración propia a partir de VOSviewer con metadatos de Scopus.

Asimismo, términos como conservación de la energía, edificios y formación en ingeniería evidencian una especialización de la investigación orientada hacia la gestión de infraestructuras y el fortalecimiento de competencias profesionales. El mapeo de palabras clave permite identificar las principales relaciones semánticas entre los clústeres temáticos, confirmando que la producción científica se concentra en dimensiones concretas y multidisciplinarias de la gestión energética institucional.

Es relevante destacar que, aunque eficiencia energética es el término predominante en las búsquedas (2390 ocurrencias), este resultado refleja que constituye el objetivo final que persiguen los investigadores al implementar SGE basados en la ISO 50001 en las IES. De este modo, se confirma una relación jerárquica clara: la norma ISO 50001 funciona como el medio o herramienta normativa, mientras que la eficiencia energética representa el fin

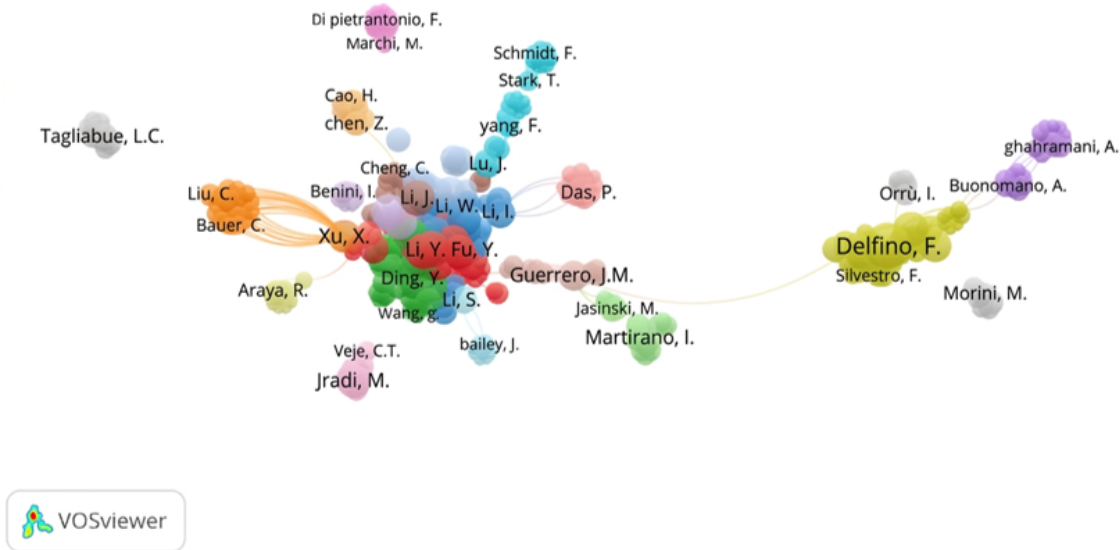
o resultado esperado.

Estos términos evidencian una jerarquía conceptual en la que gestión energética constituye el concepto marco, sistemas de gestión energética representa la metodología de implementación, con la ISO 50001 como estándar de referencia, y eficiencia energética se configura como el resultado u objeto esperado de dichas prácticas.

El análisis de los datos obtenidos permite comprender y sintetizar las dinámicas globales del campo de estudio, ofreciendo una visión estructurada de las principales tendencias investigativas, particularmente en torno al desarrollo sostenible, la eficiencia energética y la sostenibilidad institucional. Asimismo, el mapeo de palabras clave evidencia la articulación temática entre eficiencia energética, infraestructura (edificios) y formación profesional, lo que confirma el carácter aplicado y multidisciplinario de la

Figura 3

Red de participación o colaboración entre los principales investigadores



Fuente: elaboración propia a partir de VOSviewer con metadatos de Scopus.

Tabla 2

Autores en el campo de estudio

Autores	Documentos	Fuerza total de enlace
Delfino, F.	31	128
Bracco, S.	17	58
Li, Y.	16	33
Li, J.	15	29
Li, Z.	15	38
Wang, Y.	15	26
Wang, Z.	15	33
Liu, Y.	14	23
Robb, M.	14	67
Chen, J.	13	21

Fuente: elaboración propia con metadatos de Scopus procesados en VOSviewer.

Tabla 3

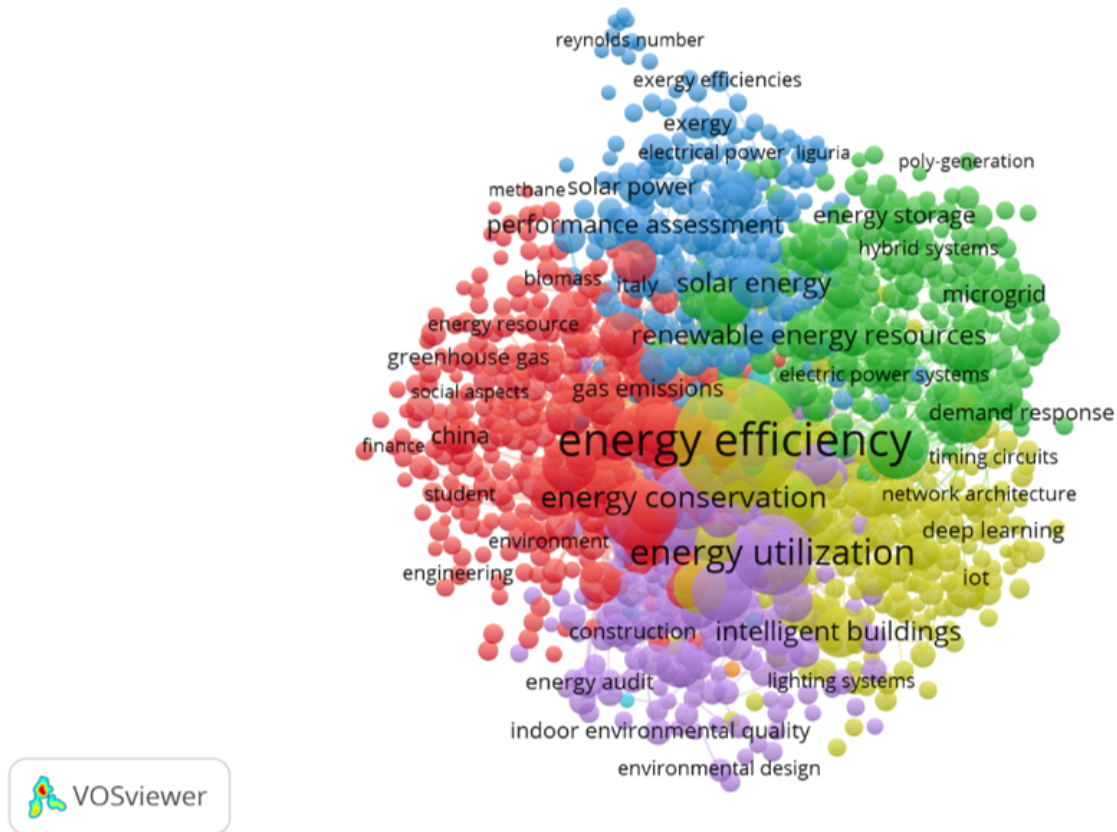
Frecuencia de palabras clave en áreas de investigación

Palabras clave	Ocurrencias	Fuerza total de enlace
Eficiencia energética	2390	20427
Utilización de la energía	682	7354
Desarrollo sostenible	481	4972
Conservación de la energía	339	3790
Gestión energética	316	3591
Edificios	297	3243
Formación en ingeniería	276	2522
Sistemas de gestión energética	259	3045
Energía	235	2348
Sostenibilidad	216	2077

Fuente: elaboración propia con metadatos de Scopus procesados en VOSviewer.

Figura 4

Mapeo de palabras clave



Fuente: elaboración propia a partir de VOSviewer con metadatos de Scopus.

investigación en gestión energética en instituciones de educación superior.

Este avance hacia la consolidación del conocimiento científico global se fortalece mediante la creación de alianzas y redes de colaboración entre investigadores e instituciones, lo que favorece la integración de enfoques técnicos, normativos y estratégicos en el estudio de los sistemas de gestión energética.

Los resultados de la tabla 4 evidencian la diversidad de metodologías aplicadas en eficiencia y sostenibilidad energética en la educación superior, con un marcado predominio de estudios centrados en simulación, modelado y análisis cuantitativo del consumo energético (Ge et al., 2018; Han et al., 2015; Wang et al., 2023). Aunque Estados Unidos

lidera la producción en el análisis bibliométrico, la revisión sistemática muestra un predominio asiático consistente con la literatura examinada, que posiciona a China como referente en innovación y adopción de tecnologías limpias en IES (Chien et al., 2023).

En Europa, particularmente en el Reino Unido y los Países Bajos, la gestión sustentable basada en ISO 50001 y las redes de desarrollo sostenible en educación superior se encuentran ampliamente documentadas. Destaca, en este contexto, la institucionalización de modelos de gestión y certificaciones internacionales en el ámbito energético (Jovanović & Filipović, 2016; Lo-Iacono-Ferreira et al., 2018; Malinauskaite et al., 2019). Este énfasis europeo puede explicarse, en parte, por su liderazgo en políticas de sostenibilidad

Tabla 4

Metodologías implementadas por país y región en eficiencia energética en educación superior

Metodología de eficiencia energética	País / Región	Cita
Políticas para mejorar la eficiencia energética en educación superior	América Latina	Leal Filho, Amaro, Avila, Brandli, Damke, Vasconcelos, ... y Salvia, 2021
Cursos Online Masivos y Abiertos (MOOC) en eficiencia energética para educación superior	Asia	Senevirathne, Amaratunga, Haigh, Kumer y Kaklauskas, 2022
Gestión sustentable con ISO 50001 en educación superior	Brasil	Moreira, Malheiros, Alfaro, Cetrulo y Ávila, 2018
Enfoque sustentable en educación superior	Brasil	Bizerril, Rosa, Carvalho y Pedrosa, 2018
Plan de gestión de residuos en educación superior	Brasil	Fagnani y Guimarães, 2017
Prácticas sustentables en educación superior.	Brasil	Vieira, Battistelle, Bezerra, de Castro, Jabbour y Deus, 2018
Aplicación de estrategias de eficiencia energética en educación superior	Colombia	Martínez y Piña, 2016
Estrategias de eficiencia energética en educación superior	Colombia	Moreno, Cobo, Barraza-Botet y Sánchez, 2022
Aprovechamiento sostenible de recursos naturales en educación superior	Colombia	Poveda y Martinez, 2021
Medición de huella de carbono en universidades	Estados Unidos	Kiehle, Kopsakangas-Savolainen, Hilli y Pongrácz, 2023
Estrategias de ahorro energético en universidad pública	Estados Unidos	Mohammadalizadehkorde y Weaver, 2020
Implementación de energías renovables en educación superior	Ucrania	Rodgers, 2021
Eficiencia energética con ISO 50001 en educación superior	Países Bajos	Battle, Palacio, Lora, Reyes, Moreno y Morejón, 2020
Gestión sustentable con ISO 50001 en educación superior	Países Bajos	Jillani, Chaudhry y Zahid, 2022
Enfoque sustentable en educación superior	Reino Unido	Lo-Iacono-Ferreira, Capuz-Rizo y Torregrosa-López, 2018
Redes de desarrollo sostenible en educación superior	Reino Unido	Vargas, Lawthom, Prowse, Randles y Tzoulas, 2019

Continúa en siguiente página...

Tabla 4
Continuación

Desarrollo económico sostenible en educación superior	Reino Unido	Abad-Segura y González-Zamar, 2021
Educación en tecnologías energéticas limpias	Reino Unido	Nowotny, Dodson, Fiechter, Gür, Kennedy, Macyk, ... y Rahman, 2018
Sostenibilidad integrada en educación superior	Reino Unido	Kapitulčínová, AtKisson, Perdue y Will, 2018
Medición de huella de carbono en educación superior	Reino Unido	Li, Chen, Yang, Wei, Ling, Liu, ... y Ye, 2021
Pruebas térmicas y simulación en bibliotecas y residencias universitarias	China	Liu y Ren, 2020
Mediciones térmicas y simulación en edificios de educación superior	China	Ge, Wu, Chen y Wu, 2018
Modelo de análisis de ciclo de vida y planificación energética para medir y proyectar la huella de carbono en campus universitarios	China	Wang, Parvez, Mou, Quan, Wang, Zheng, ... y Wu, 2023
Análisis cuantitativo de consumo energético en campus verde	China	Zhu, Wang, Sun y Dewancker, 2021
Correlación entre comportamiento y consumo energético	China	Zhao, Zhang, Xu, Wu y Ma, 2021
Agrupamiento estadístico del consumo energético en residencias universitarias	China	Zhou, Sun, Hu y Ma, 2021
Medición y simulación para mejoras energéticas	China	Han, Zhou y Luo, 2015
Simulación del consumo energético con datos reales de campus universitarios	China	Luo, Han y Zhou, 2017
Modelado y predicción del consumo energético	China	Qu, Lei, Chen y Qian, 2015
Encuesta para evaluar la alfabetización energética en universidades	China	Cotton, Zhai, Miller, Dalla y Winter, 2021
Financiación verde para impulsar prácticas de ahorro energético	China	Talha, 2023
Análisis nexo agua-energía-carbono y medidas de mitigación	China	Li, Zhao, Xie, Xiao, Chuai, Feng, ... y Luo, 2022
Modelo de datos para la ecoeficiencia en educación superior	China	Xu, Xu, Zhai y Li, 2023

Fuente: elaboración propia.

universitaria y en la adopción de estándares reconocidos como ISO 50001, cuya implementación ha demostrado reducciones significativas en el consumo energético y en las emisiones, al promover procesos sistemáticos de mejora continua en los campus (Quispe et al., 2025).

Por su parte, América Latina, especialmente Brasil y Colombia, concentra sus aportes en la gestión de residuos y en estrategias de sostenibilidad institucional. No obstante, la región enfrenta desafíos relacionados con limitaciones presupuestales, incentivos gubernamentales insuficientes y brechas estructurales, tal como lo señalan Fagnani & Guimarães (2017) y Moreira et al. (2018). La relevancia de implementar políticas de eficiencia energética y sostenibilidad en el sector universitario radica no solo en la reducción de costos y emisiones, sino también en su potencial formativo, ya que las universidades funcionan como laboratorios vivos que influyen en la sociedad y en las futuras generaciones (Almasri et al., 2024).

Este papel transformador es relatado por investigaciones recientes de alto impacto, las cuales subrayan que las estrategias de eficiencia y sostenibilidad que integran tecnología, gestión y formación logran resultados más integrales en la reducción del consumo energético y fortalecen la responsabilidad ambiental de estudiantes y comunidades universitarias (Chaer et al., 2025; Omar et al., 2025).

En síntesis, los resultados confirman la consolidación europea en la aplicación de modelos y certificaciones internacionales de eficiencia energética; la expansión latinoamericana en la adopción de políticas y estrategias asociadas a sostenibilidad y gestión de residuos; y el creciente interés global por la educación abierta, el seguimiento de la huella de carbono y la innovación tecnológica. Este análisis coincide con revisiones internacionales que enfatizan la necesidad de enfoques multidimensionales, colaborativos y sistémicos para avanzar hacia una transformación sostenible en la educación superior (Garrido-Yserte & Gallo-Rivera, 2020; Leal Filho et al., 2021; Shih et al., 2025).

Si bien la implementación de estos modelos y estándares ha demostrado impactos positivos en la

reducción del consumo energético y de las emisiones (Batlle et al., 2020; Quispe et al., 2025), persisten barreras estructurales, financieras y de capacidades técnicas, particularmente en regiones en desarrollo (Kapitulčinová et al., 2018; Leal Filho et al., 2021). En consecuencia, aunque se evidencian avances tangibles, la integración efectiva de tecnología, gestión y formación exige acciones coordinadas, estrategias de carácter multidimensional y un fortalecimiento del rol educativo y cultural de las instituciones de educación superior (Kapitulčinová et al., 2018; Shawe et al., 2019; Vargas et al., 2019).

Conclusiones

Los resultados de esta revisión sistemática y del análisis bibliométrico demuestran que los SGE basados en la ISO 50001 constituyen una estrategia integral con potencial transformador para fortalecer la eficiencia energética y la sostenibilidad en la educación superior. La evidencia analizada indica que las IES que integran de manera sinérgica tecnología, gestión y formación logran reducciones tangibles en el consumo energético y en las emisiones, al tiempo que impulsan transformaciones culturales y organizacionales al interior de sus campus.

El estudio identifica tres enfoques regionales diferenciados. En Europa predomina la implementación de modelos certificados y marcos normativos consolidados, con liderazgo en colaboración científica, destacándose el Reino Unido con una fuerza total de enlace de 246. En Asia se prioriza la innovación tecnológica y el desarrollo de modelos predictivos sofisticados, con una alta productividad científica en países como China e Italia (330 documentos cada uno). Por su parte, América Latina evidencia avances en gestión integral de residuos y en formulación de políticas de sostenibilidad institucional; sin embargo, enfrenta barreras significativas asociadas al financiamiento gubernamental y a limitaciones estructurales.

La investigación permite identificar tres barreras estructurales recurrentes: restricciones financieras, debilidades organizacionales e insuficiencias infraestructurales. Asimismo, se reconocen cuatro factores potencializadores del éxito: (1) integración tecnológica; (2) gestión estratégica basada en

el ciclo PHVA; (3) formación y sensibilización de la comunidad académica; y (4) colaboración institucional formalizada. Mientras que en contextos desarrollados persiste cierta resistencia organizacional al cambio, en contextos en desarrollo se suman limitaciones presupuestales, debilidad institucional y ausencia de políticas públicas habilitantes.

En este escenario, las universidades, en su calidad de generadoras y difusoras del conocimiento, están llamadas a posicionarse como actores estratégicos en la transición energética. Ello implica promover acciones coordinadas, adoptar estándares internacionales y fortalecer su función educativa y cultural, articulando tecnología, gestión, formación y política pública. Solo mediante esta alineación sistémica será posible consolidar impactos sostenibles en la mitigación del cambio climático y contribuir de manera efectiva al cumplimiento de los ODS 7 (energía asequible y no contaminante), 12 (producción y consumo responsable) y 13 (acción por el clima).

References

- Abad-Segura, E., & González-Zamar, M. D. (2021). Sustainable economic development in higher education institutions: A global analysis within the SDGs framework. *Journal of Cleaner Production*, *294*, 126133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126133>
- Ajmi, A. A., Mahmood, N. S., Jamaludin, K. R., Talib, H. H. A., Sarip, S., & Kaidi, H. M. (2023). Performance shaping factors for future sustainable energy management: A new integrated approach. *Heliyon*, *9*(8), e18438. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18438>
- Almasri, R. A., Abu-Hamdeh, N. H., & Al-Tamimi, N. (2024). A state-of-the-art review of energy-efficient and renewable energy systems in higher education facilities. *Frontiers in Energy Research*, *11*, 1344216. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1344216>
- Altamar, F. A. B., Eras, J. J. C., & Soto, J. C. (2024). Analysis of energy performance of intermediate municipalities: Case of Sabanalarga in the Atlantic Department of Colombia. *Procedia Computer Science*, *231*, 615–622. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.176>
- Altassan, A. (2023). Sustainable integration of solar energy, behavior change, and recycling practices in educational institutions: A holistic framework for environmental conservation and quality education. *Sustainability*, *15*(20), 15157. <https://doi.org/10.3390/su152015157>
- Bartolucci, B., Frasca, F., Flores-Colen, I., Bertolin, C., & Siani, A. M. (2024). Key performance indicators: Their use in the energy efficiency retrofit for historic buildings. *Procedia Structural Integrity*, *55*, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.02.015>
- Battle, E. A. O., Palacio, J. C. E., Lora, E. E. S., Reyes, A. M. M., Moreno, M. M., & Morejón, M. B. (2020). A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study, Federal University of Itajubá (UNIFEI). *Journal of Cleaner Production*, *244*, 118551. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118551>
- Batouta, K. I., Aouhassi, S., & Mansouri, K. (2023). Energy efficiency in the manufacturing industry—A tertiary review and a conceptual knowledge-based framework. *Energy Reports*, *9*, 4635–4653. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.107>
- Bizerril, M., Rosa, M. J., Carvalho, T., & Pedrosa, J. (2018). Sustainability in higher education: A review of contributions from Portuguese speaking countries. *Journal of Cleaner Production*, *171*, 600–612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.048>
- Borowski, P. F. (2022). Mitigating climate change and the development of green energy versus a return to fossil fuels due to the energy crisis in 2022. *Energies*, *15*(24), 9289. <https://doi.org/10.3390/en15249289>
- Botello-Álvarez, J. E., Rivas-García, P., Fausto-Castro, L., Estrada-Baltazar, A., & Gómez-González, R. (2018). Informal collection, recycling and export of valuable waste as transcendent factor in the municipal solid waste management: A Latin-American reality. *Journal of Cleaner Production*, *182*, 485–495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.065>
- Chaer, I., Ozarisoy, B., Ismail, M. A. E., Salari, S., & Zhihui, Y. (2025). Energy efficiency

- in educational buildings: A systematic review of smart technology integration and occupant behaviour. *Building and Environment*, 280, 113132. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113132>
- Chen, W., Alharthi, M., Zhang, J., & Khan, I. (2024). The need for energy efficiency and economic prosperity in a sustainable environment. *Gondwana Research*, 127, 22–35. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.025>
- Chien, F., Huang, L., & Zhao, W. (2023). The influence of sustainable energy demands on energy efficiency: Evidence from China. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(1), 100298. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100298>
- Cooremans, C., & Schönenberger, A. (2019). Energy management: A key driver of energy-efficiency investment? *Journal of Cleaner Production*, 230, 264–275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.333>
- Cotton, D. R. E., Zhai, J., Miller, W., Dalla Valle, L., & Winter, J. (2021). Reducing energy demand in China and the United Kingdom: The importance of energy literacy. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123876. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123876>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Du, Y., Arkesteijn, M. H., Heijer, A. C. den, & Song, K. (2020). Sustainable assessment tools for higher education institutions: Guidelines for developing a tool for China. *Sustainability*, 12(16), 6501. <https://doi.org/10.3390/su12166501>
- El Majaty, S., Touzani, A., & Kasseh, Y. (2023). Results and perspectives of the application of an energy management system based on ISO 50001 in administrative buildings-case of Morocco. *Materials Today: Proceedings*, 72, 3233–3237. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.094>
- Erdoğan, A., Dayi, F., Yanik, A., Yildiz, F., & Ganji, F. (2025). Innovative solutions for combating climate change: Advancing sustainable energy and consumption practices for a greener future. *Sustainability*, 17(6), 2697. <https://doi.org/10.3390/su17062697>
- Fagnani, E., & Guimarães, J. R. (2017). Waste management plan for higher education institutions in developing countries: The Continuous Improvement Cycle model. *Journal of Cleaner Production*, 147, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.080>
- Garrido-Yserte, R., & Gallo-Rivera, M. T. (2020). The potential role of stakeholders in the energy efficiency of higher education institutions. *Sustainability*, 12(21), 8908. <https://doi.org/10.3390/su12218908>
- Ge, J., Wu, J., Chen, S., & Wu, J. (2018). Energy efficiency optimization strategies for university research buildings with hot summer and cold winter climate of China based on the adaptive thermal comfort. *Journal of Building Engineering*, 18, 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.03.022>
- Han, Y., Zhou, X., & Luo, R. (2015). Analysis on campus energy consumption and energy saving measures in cold region of China. *Procedia Engineering*, 121, 801–808. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.033>
- Hluszko, C., Barros, M. V., Souza, A. M. de, Huarachi, D. A. R., Ulloa, M. I. C., Moretti, V., & Francisco, A. C. de. (2024). Sustainability in practice: Analyzing Environmental, Social and Governance practices in leading Latin American organizations' reports. *Cleaner Production Letters*, 100069. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2024.100069>
- Jillani, H., Chaudhry, M. N., & Zahid, H. (2022). Assessing sustainability cognizance in higher education institutions. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100190>
- Jovanović, B., & Filipović, J. (2016). ISO 50001 standard-based energy management maturity model-proposal and validation in industry. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2744–2755. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.023>
- Kairies-Alvarado, D., Muñoz-Sanguinetti, C., & Martínez-Rocamora, A. (2021). Contribution of energy efficiency standards to life-cycle carbon footprint reduction in public buildings in Chile. *Energy and Buildings*, 236, 110797. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110797>
- Kapitulčinová, D., AtKisson, A., Perdue, J., & Will,

- M. (2018). Towards integrated sustainability in higher education—Mapping the use of the Accelerator toolset in all dimensions of university practice. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4367–4382. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.050>
- Kiehle, J., Kopsakangas-Savolainen, M., Hilli, M., & Pongrácz, E. (2023). Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu. *Journal of Environmental Management*, 329, 117056. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117056>
- Kouaho, E. S., N'guessan, Y., & Marvillet, C. (2024). Comparative study of an energy information system and energy management system according to ISO 50001. *Energies*, 17(21), 5446. <https://doi.org/10.3390/en17215446>
- Kshanh, I., & Tanaka, M. (2024). Comparative analysis of MCDM for energy efficiency projects evaluation towards sustainable industrial energy management: Case study of a petrochemical complex. *Expert Systems with Applications*, 255, 124692. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124692>
- Leal Filho, W., Amaro, N., Avila, L. V., Brandli, L., Damke, L. I., Vasconcelos, C. R., & Salvia, A. (2021). Mapping sustainability initiatives in higher education institutions in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128093. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128093>
- Li, R., Zhao, R., Xie, Z., Xiao, L., Chuai, X., Feng, M., & Luo, H. (2022). Water–energy–carbon nexus at campus scale: Case of North China University of Water Resources and Electric Power. *Energy Policy*, 166, 113001. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113001>
- Li, Z., Chen, Z., Yang, N., Wei, K., Ling, Z., Liu, Q., & Ye, B. H. (2021). Trends in research on the carbon footprint of higher education: A bibliometric analysis (2010–2019). *Journal of Cleaner Production*, 289, 125642. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125642>
- Liu, Q., & Ren, J. (2020). Research on the building energy efficiency design strategy of Chinese universities based on green performance analysis. *Energy and Buildings*, 224, 110242. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110242>
- Lo-Iacono-Ferreira, V. G., Capuz-Rizo, S. F., & Torregrosa-López, J. I. (2018). Key performance indicators to optimize the environmental performance of Higher Education Institutions with environmental management system—A case study of Universitat Politècnica de València. *Journal of Cleaner Production*, 178, 846–865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.184>
- Luo, R., Han, Y., & Zhou, X. (2017). Characteristics of campus energy consumption in North China University of Science and Technology. *Procedia Engineering*, 205, 3816–3823. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.098>
- Malinauskaitė, J., Jouhara, H., Ahmad, L., Milani, M., Montorsi, L., & Venturelli, M. (2019). Energy efficiency in industry: EU and national policies in Italy and the UK. *Energy*, 172, 255–269. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.130>
- Mälkki, H., & Alanne, K. (2017). An overview of life cycle assessment (LCA) and research-based teaching in renewable and sustainable energy education. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.176>
- Martínez, C. I. P., & Piña, W. H. A. (2016). Regional analysis across Colombian departments: A non-parametric study of energy use. *Journal of Cleaner Production*, 115, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.019>
- Mendez-Castillo, C. S., Correa-Rivera, M. A., & Peñaloza-González, Y. D. (2022). Energías renovables como modelo sostenible en el comercio internacional. *Visión Internacional (Cúcuta)*, 7(1), 23–40. <https://doi.org/10.22463/27111121.3334>
- Mishra, P., & Singh, G. (2023). Energy management systems in sustainable smart cities based on the internet of energy: A technical review. *Energies*, 16(19), 6903. <https://doi.org/10.3390/en16196903>
- Mohammadalizadehkorde, M., & Weaver, R. (2020). Quantifying potential savings from sustainable energy projects at a large public university: An energy efficiency assessment for Texas State University. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100570. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100570>
- Moreira, R., Malheiros, T. F., Alfaro, J. F., Cetrulo, T. B., & Ávila, L. V. (2018). Solid waste

- management index for Brazilian higher education institutions. *Waste Management*, 80, 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.025>
- Moreno, J., Cobo, M., Barraza-Botet, C., & Sánchez, N. (2022). Role of low carbon emission H2 in the energy transition of Colombia: Environmental assessment of H2 production pathways for a certification scheme. *Energy Conversion and Management: X*, 16, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100312>
- Mulugetta, Y., Sokona, Y., Trotter, P. A., Fankhauser, S., Omukuti, J., Somavilla Croxatto, L., & Yussuff, A. (2022). Africa needs context-relevant evidence to shape its clean energy future. *Nature Energy*, 7(11), 1015–1022. <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01552-4>
- Munaro, M. R., & John, V. M. (2024). Energy efficiency in higher education institutions: A review of actions and their contribution to sustainable development. *International Conference Coordinating Engineering for Sustainability and Resilience*, 207–217. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_19
- Neusel, L., & Hirzel, S. (2022). Energy efficiency in cold supply chains of the food sector: An exploration of conditions and perceptions. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100082>
- Nowotny, J., Dodson, J., Fiechter, S., Gür, T. M., Kennedy, B., Macyk, W., & Rahman, K. A. (2018). Towards global sustainability: Education on environmentally clean energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2541–2551. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.060>
- Omar, S. R., Fukata, Y., Tahir, M. M., Ahmad, S. S. S., Sedek, M., Intan, T., & Shariff, S. T. (2025). Promoting Energy Efficiency in Higher Education: A study of behavioral and technological interventions. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 15(3), 2189–2200. <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v15-i3/25172>
- Özkan, O., Alola, A. A., & Adebayo, T. S. (2023). Environmental benefits of nonrenewable energy efficiency and renewable energy intensity in the USA and EU: Examining the role of clean technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 58, 103315. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103315>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Patiño, L. I., Alcántara, V., & Padilla, E. (2021). Driving forces of CO2 emissions and energy intensity in Colombia. *Energy Policy*, 151, 112130. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112130>
- Plazas-Niño, F. A., Yeganyan, R., Cannone, C., Howells, M., & Quirós-Tortós, J. (2023). Informing sustainable energy policy in developing countries: An assessment of decarbonization pathways in Colombia using open energy system optimization modelling. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101226. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101226>
- Poveda, A. C., & Martínez, C. I. P. (2021). Environmental and natural resources research: The case of a research institute in Colombia. In *Environmental sustainability and development in organizations* (pp. 18–49). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003009115>
- Poveda-Orjuela, P. P., García-Díaz, J. C., Pulido-Rojano, A., & Cañón-Zabala, G. (2019). ISO 50001:2018 and its application in a comprehensive management system with an energy-performance focus. *Energies*, 12(24), 4700. <https://doi.org/10.3390/en12244700>
- Qu, L. J., Lei, L. N., Chen, W., & Qian, J. Y. (2015). Energy consumption prediction of university buildings in China and strategies for energy efficiency management. *Proceedings of the ASME 2015 International Conference on Energy Sustainability*. <https://doi.org/10.1115/ES2015-49071>
- Quispe, E. C., Viveros Mira, M., Chamorro Díaz, M., Castrillón Mendoza, R., & Vidal Medina, J. R. (2025). Energy management systems in higher education institutions' buildings. *Energies*, 18(7), 1810. <https://doi.org/10.3390/en18071810>
- Ramírez-Tovar, A. M., Moreno, R., & Carrillo-Rodríguez, L. A. (2021). The Colombian energy policy challenges in front of climate change. *International Journal of Energy Economics and*

- Policy*, 11(6), 401–407. <https://doi.org/10.32479/ijee.10517>
- Ramísio, P. J., Pinto, L. C., & Almeida, M. (2024). The need for scientific-area-related indicators for effective energy planning in higher education institutions. *Heliyon*, 10(11), e31688. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31688>
- Rodgers, M. D. (2021). Pathways to eliminate carbon emissions via renewable energy investments at higher education institutions. *The Electricity Journal*, 34(5), 106952. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2021.106952>
- Salcedo, L. O. G., Badiel, A. V. A., & Carmona, D. F. M. (2023). Metodologías para la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones universitarias: Revisión literaria. *Ingeniería y Competitividad*, 25(4), e30313080. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i4.13080>
- Senevirathne, M., Amaratunga, D., Haigh, R., Kumer, D., & Kaklauskas, A. (2022). A common framework for MOOC curricular development in climate change education-Findings and adaptations under the BECK project for higher education institutions in Europe and Asia. *Progress in Disaster Science*, 14, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100222>
- Shawe, R., Horan, W., Moles, R., & O'Regan, B. (2019). Mapping of sustainability policies and initiatives in higher education institutes. *Environmental Science & Policy*, 99, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.015>
- Shih, Y. H., Hsu, M. C., & Chang, C. L. (2025). Sustainability transformations in higher education: Global perspectives on the challenges and solutions. *International Journal of Education and Humanities*, 5(1), 126–139. <https://doi.org/10.58557/ijeh.v5i1.290>
- Talha, M. (2023). Green financing and sustainable policy for low carbon and energy saving initiatives: Turning educational institutes of China into green. *Engineering Economics*, 34(1), 103–117. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.34.1.32837>
- Vargas, V. R., Lawthom, R., Prowse, A., Randles, S., & Tzoulas, K. (2019). Sustainable development stakeholder networks for organisational change in higher education institutions: A case study from the UK. *Journal of Cleaner Production*, 208, 470–478. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.078>
- Vieira, K. R. O., Battistelle, R. A. G., Bezerra, B. S., Castro, R. de, Jabbour, C. J. C., & Deus, R. M. (2018). An exploratory study of environmental practices in two Brazilian higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, 187, 940–949. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.260>
- Wang, C., Parvez, A. M., Mou, J., Quan, C., Wang, J., Zheng, Y., & Wu, T. (2023). The status and improvement opportunities towards carbon neutrality of a university campus in China: A case study on energy transition and innovation perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137521>
- Wintaco, P. A. M., Tellez, S. M., & Prias, O. F. (2022). End-use energy indicator approach to improve energy performance at the National University of Colombia Bogotá, under the parameters of the ISO 50001 standard. *Transactions on Energy Systems and Engineering Applications*, 3(2), 1–14. <https://doi.org/10.32397/tesea.vol3.n2.460>
- Xu, Y., Xu, Z., Zhai, D., & Li, Y. (2023). Effects of higher education on green eco-efficiency and its optimization path: Case study of China. *Sustainability*, 15(18), 13428. <https://doi.org/10.3390/su151813428>
- Zhao, T., Zhang, C., Xu, J., Wu, Y., & Ma, L. (2021). Data-driven correlation model between human behavior and energy consumption for college teaching buildings in cold regions of China. *Journal of Building Engineering*, 38, 102093. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102093>
- Zhou, Y., Sun, L., Hu, X., & Ma, L. (2021). Clustering and statistical analyses of electricity consumption for university dormitories: A case study from China. *Energy and Buildings*, 245, 110862. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110862>
- Zhu, B., Wang, Z., Sun, C., & Dewanker, B. (2021). The motivation and development impact of energy saving to sustainability in the construction of green campus: A case study of the Zhejiang University, China. *Environment, Development and Sustainability*, 23(9), 14068–14089. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01190-2>