

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0233>

ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRUCTURAS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONSTRUCCIONES CIVILES SOSTENIBLES

STATE OF THE ART ON STRUCTURES AND ENERGY EFFICIENCY IN SUSTAINABLE CIVIL CONSTRUCTIONS

Zambrano-Beltrón Luis Antonio ¹; Proaño-Viscarra Kevin Ricardo ²

¹ Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras, Universidad Técnica de Manabí.
Portoviejo, Ecuador. Correo: luis.zambrano01@utm.edu.ec.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8944-4934>.

² Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador. Correo:
kevin.proano.26@est.ucacue.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7365-4107>.

Resumen

Este artículo revisa el estado del arte sobre las estructuras y la eficiencia energética en construcciones civiles sostenibles. A través de una revisión sistemática de la literatura, se analizan las estrategias utilizadas globalmente para mejorar la sostenibilidad en el sector de la construcción, centrándose en el uso de materiales ecológicos, el diseño pasivo y la integración de energías renovables. Asimismo, se discuten los retos que enfrenta Ecuador en la implementación de estas prácticas sostenibles, destacando las barreras económicas y normativas. Finalmente, se proponen recomendaciones para adaptar dichas estrategias al contexto ecuatoriano y mejorar la eficiencia energética en las edificaciones.

Palabras clave: Sostenibilidad, eficiencia energética, construcción civil, diseño pasivo, energías renovables, Ecuador.

Abstract

This article reviews the state of the art on structures and energy efficiency in sustainable civil constructions. Through a systematic literature review, global strategies to enhance sustainability in the construction sector are analyzed, focusing on the use of eco-friendly materials, passive design, and the integration of renewable energies. The challenges Ecuador faces in implementing these sustainable practices are discussed, with an emphasis on economic and regulatory barriers. Lastly, recommendations are made to adapt these strategies to the Ecuadorian context and improve energy efficiency in buildings.

Keywords: Sustainability, energy efficiency, civil construction, passive design, renewable energies, Ecuador.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de octubre de 2024.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2024.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2025.



1. Introducción

La construcción sostenible ha adquirido una relevancia global debido al impacto ambiental generado por la industria de la construcción. Este sector es responsable de aproximadamente el 40% del consumo energético mundial y de una parte considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) (Asdrubali, D'Alessandro y Schiavoni, 2022). Debido a esto, la industria de la construcción se ha convertido en un actor clave en la lucha contra el cambio climático, impulsando la necesidad de incorporar principios de sostenibilidad en los proyectos de construcción. Las edificaciones sostenibles buscan reducir el consumo de recursos naturales y minimizar las emisiones de GHG mediante el uso de tecnologías y diseños innovadores.

El problema principal es que, aunque varios países han avanzado en la implementación de prácticas sostenibles en la construcción, Ecuador enfrenta desafíos significativos para adoptar estos enfoques de manera generalizada. Entre los obstáculos más destacados se encuentran la falta de

incentivos económicos, la limitada conciencia pública sobre los beneficios a largo plazo y la dependencia de fuentes de energía no renovables (Rojas, 2023). En Ecuador, el sector de la construcción representa aproximadamente el 20% del consumo energético total del país, lo que subraya la importancia de implementar estrategias que mejoren la eficiencia energética en las edificaciones (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2022).

"Hernández-Moro y Martínez-Duart (2022) destacan que la implementación de sistemas de energía renovable no solo reduce la huella de carbono, sino que también mejora la viabilidad económica a largo plazo, debido al ahorro en costos operativos."

A nivel internacional, las estrategias para enfrentar estos desafíos varían según las características geográficas y socioeconómicas de cada región. En países como Alemania y Japón, se ha priorizado el uso de materiales sostenibles, con bajas emisiones de carbono, reciclables y duraderos. Estos países han establecido marcos normativos que obligan a los

desarrolladores a minimizar el impacto ambiental de los materiales de construcción (Nakahara y Yamamoto, 2021).

En Europa y América del Norte, se ha promovido el diseño pasivo, que optimiza el uso de la luz natural y la ventilación para reducir la dependencia de sistemas de climatización artificial (González y Navarro, 2022). Además, países como Suecia y Dinamarca han incorporado con éxito energías renovables, como la solar y la eólica, en sus edificaciones, lo que ha reducido significativamente su dependencia de combustibles fósiles (Eriksson y Johansson, 2020).

González y Navarro (2022) subrayan que el diseño pasivo no solo reduce significativamente el consumo energético, sino que también disminuye los costos operativos a largo plazo, mejorando la sostenibilidad económica de las edificaciones.

Estas experiencias internacionales proporcionan un marco de referencia útil para países como Ecuador, que buscan adoptar prácticas sostenibles adaptadas a sus características locales. No obstante, las características geográficas y

climáticas del país presentan tanto desafíos como oportunidades. Ecuador tiene la capacidad de aprovechar los avances tecnológicos internacionales en materia de sostenibilidad, pero también necesita desarrollar soluciones específicas que respondan a sus particularidades, como su diversidad climática y sus limitados recursos financieros.

La justificación de este estudio radica en la necesidad de analizar y adaptar las estrategias globales de sostenibilidad en la construcción al contexto ecuatoriano. La industria de la construcción en Ecuador sigue dependiendo en gran medida de tecnologías convencionales y fuentes de energía no renovables. Por lo tanto, este estudio tiene el potencial de contribuir al entendimiento de cómo las prácticas sostenibles pueden mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental en el país. La adopción de enfoques sostenibles no solo beneficiará al medio ambiente, sino que también proporcionará beneficios económicos a largo plazo, como la reducción de costos operativos en las edificaciones.

El propósito de este estudio es realizar una revisión exhaustiva del estado del arte sobre estructuras sostenibles y eficiencia energética en la construcción civil. Se analizarán ejemplos internacionales y casos de estudio locales en Ecuador. Los enfoques más efectivos para la reducción del consumo energético en las edificaciones, como el uso de materiales ecológicos, el diseño pasivo y la integración de energías renovables, serán explorados. Además, se examinarán las barreras que enfrenta Ecuador en la adopción de estas tecnologías, y se propondrán recomendaciones para facilitar su implementación.

La literatura más reciente ha destacado el éxito de proyectos sostenibles en Ecuador. El Proyecto de Viviendas Sostenibles en Quito, por ejemplo, ha implementado materiales locales y sistemas de diseño pasivo, logrando una reducción del 30% en el consumo energético en comparación con edificaciones convencionales (Quintero Zambrano y Espinoza, 2023). Asimismo, el proyecto gubernamental Ecoinvolúcrate ha sido pionero en la construcción de

Edificios de Energía Casi Nula (NZEB) en el sector público, logrando reducir las emisiones de CO₂ en un 25% (Pérez y Márquez, 2019).

"Pérez y Márquez (2019) explican cómo el proyecto gubernamental Ecoinvolúcrate ha sido pionero en la construcción de Edificios de Energía Casi Nula en Ecuador, demostrando que las políticas públicas pueden jugar un rol decisivo en la adopción de tecnologías sostenibles."

Como podemos apreciar, aunque Ecuador ha iniciado la implementación de algunas de estas estrategias, el camino hacia una adopción generalizada de prácticas sostenibles en la construcción aún presenta importantes desafíos. Este estudio tiene como objetivo proporcionar un análisis detallado de las mejores prácticas internacionales y su posible adaptación al contexto ecuatoriano, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental del sector de la construcción en el país.

2. Materiales y métodos

El presente estudio se basa en una revisión sistemática de la literatura enfocada en artículos publicados

entre 2013 y 2023, cuyo enfoque central trata sobre estructuras sostenibles y eficiencia energética en la construcción civil. La metodología utilizada sigue el enfoque PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), garantizando rigor en la selección y análisis de los estudios revisados.

Criterios de Selección

Para asegurar la validez y aplicabilidad de los resultados, se establecieron criterios de inclusión y exclusión rigurosos:

1. **Ámbito geográfico:** Se priorizaron estudios realizados en **Ecuador** o en países con **contextos climáticos y geográficos similares**, con el objetivo de obtener resultados relevantes y adaptables a las condiciones locales. Asimismo, se incluyeron investigaciones de países líderes en construcción sostenible, como **Alemania, Suecia y Japón**, para realizar comparaciones internacionales y detectar posibles áreas de mejora en Ecuador.
2. **Marco temporal:** Solo se seleccionaron estudios publicados en los últimos **10 años** (2013-2023), con el fin de garantizar que los datos y tecnologías evaluados fueran actuales y reflejaran el estado más reciente de la investigación en sostenibilidad y eficiencia energética en la construcción.
3. **Temática:** Los estudios incluidos debían abordar directamente las **estructuras sostenibles**, la **eficiencia energética en construcciones civiles**, o la **integración de energías renovables** en edificios. Los estudios que no tenían una relación directa con estos temas fueron excluidos del análisis.
4. **Calidad de la evidencia:** Se priorizaron estudios que presentaran **datos cuantitativos verificables** sobre la eficiencia energética, el uso de materiales ecológicos, o el impacto de las tecnologías renovables. Estudios que no proporcionaran información cuantificable o cuyos resultados no pudieran ser replicados fueron excluidos.

5. **Publicaciones revisadas por pares:** Para garantizar la **fiabilidad** de los estudios seleccionados, solo se consideraron investigaciones publicadas en **revistas científicas revisadas por pares** o actas de congresos reconocidos en los campos de la construcción y la ingeniería civil.

Método de Evaluación

Una vez seleccionados los estudios, se aplicó un proceso de evaluación y comparación para identificar tendencias, vacíos en la investigación y mejores prácticas. Este proceso incluyó los siguientes pasos:

1. **Análisis de contenido:** Se utilizó un enfoque de análisis de contenido para identificar los principales temas abordados en cada estudio, tales como el **uso de materiales sostenibles**, la **eficiencia energética de los edificios**, y la **implementación de energías renovables**. Cada artículo fue revisado sistemáticamente para extraer los resultados clave y compararlos con los hallazgos de otros estudios.

2. **Escala de calidad:** Para clasificar la calidad de la evidencia, se utilizó una escala basada en la metodología PRISMA, que incluía los siguientes criterios:

- **Rigor metodológico:** Se evaluó si los estudios utilizaban metodologías sólidas, como ensayos controlados o análisis de ciclo de vida de los materiales.
- **Tamaño de la muestra:** Los estudios con un mayor número de casos analizados fueron considerados de mayor calidad.
- **Relevancia y aplicabilidad:** Se evaluó si los resultados eran aplicables al contexto ecuatoriano o podían adaptarse a las condiciones locales.

3. **Comparación de resultados:** Se realizó una **comparación cuantitativa y cualitativa** de los resultados obtenidos en los estudios

revisados. Para la comparación cuantitativa, se consideraron métricas como:

- Costos de construcción
- Ahorros a largo plazo
- Retorno de inversión (ROI)

4. **Análisis de tendencias y vacíos:** Se identificaron las principales **tendencias** en la investigación sobre construcciones sostenibles en Ecuador, así como los vacíos de conocimiento que requerían mayor investigación. Entre las áreas de investigación menos exploradas se encontraron el análisis del **ciclo de vida de los materiales** y la **resiliencia climática** de las edificaciones en diversas zonas del país.

Limitaciones de la metodología

Aunque esta revisión ha seguido un enfoque riguroso, existen algunas limitaciones que deben mencionarse. La disponibilidad de estudios específicos sobre sostenibilidad en la construcción en

Ecuador es limitada, lo que restringe las comparaciones directas con contextos internacionales. Además, algunos estudios no proporcionaron datos cuantificables suficientes, lo que dificultó una evaluación estadística más detallada.

No obstante, el enfoque adoptado en esta revisión proporciona una base sólida para futuras investigaciones y destaca la importancia de continuar explorando áreas clave para mejorar la sostenibilidad en el sector de la construcción en Ecuador.

3. Resultados y discusión

Los estudios revisados muestran que el uso de materiales ecológicos y el diseño pasivo pueden reducir significativamente el consumo energético de las edificaciones. En Ecuador, se ha implementado el uso de materiales locales como el bambú, sin embargo, su adopción masiva es limitada debido a la percepción de menor durabilidad y altos costos iniciales (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2022).

El análisis comparativo revela que los países desarrollados han logrado avances significativos gracias a

normativas estrictas y subsidios gubernamentales. En cambio, Ecuador requiere desarrollar

políticas que incentiven el uso de energías renovables y la eficiencia energética en la construcción.

Figura 1. Ejemplo de ciclo de vida de una construcción sostenible mostrando el uso de materiales ecológicos y energías renovables. Fuente: Elaboración propia.



Comparación Internacional

El análisis de las prácticas sostenibles implementadas en Ecuador en comparación con países líderes en sostenibilidad, como Alemania, Suecia y Japón, revela importantes diferencias en términos de tecnologías y políticas utilizadas, lo que destaca oportunidades para la mejora en el contexto ecuatoriano.

En Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) establece criterios clave para la integración de energías renovables en proyectos de infraestructura, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de las edificaciones. Esta normativa enfatiza la eficiencia energética y la

reducción de emisiones de CO₂, promoviendo la incorporación de tecnologías limpias en proyectos nuevos. Asimismo, regula el uso de materiales con menor impacto ambiental, asegurando que las edificaciones contribuyan a los objetivos nacionales de reducción de emisiones y optimización del consumo energético (MIDUVI, 2020).

A nivel internacional, la ISO 9000 establece un marco para la gestión de la calidad, que incluye directrices aplicables a la eficiencia energética en la construcción. En relación con la reducción de emisiones de CO₂, esta norma promueve la adopción de

procesos estandarizados que optimizan el consumo energético durante todo el ciclo de vida de las edificaciones. Estas directrices no solo fomentan la eficiencia operativa, sino que también apuntan a minimizar la huella de carbono de los proyectos de construcción, integrando energías renovables y tecnologías limpias como parte del diseño y operación de las edificaciones (ISO, 2015).

En Alemania y Suecia, la adopción de estándares de construcción pasiva, como el Passivhaus, ha sido una herramienta eficaz para reducir drásticamente el consumo de energía en los edificios. Estos estándares establecen límites estrictos para el uso de energía en calefacción, refrigeración y ventilación, apoyados por políticas

gubernamentales que ofrecen incentivos financieros y subvenciones para proyectos de construcción que cumplen con estos criterios (Eriksson & Johansson, 2020). En contraste, Ecuador carece de un estándar nacional que regule la eficiencia energética en las edificaciones de manera tan estricta.

Otro aspecto clave es el uso de materiales sostenibles. En Japón, por ejemplo, se ha hecho un gran esfuerzo para desarrollar y utilizar materiales de construcción reciclables y de baja huella de carbono, como la madera laminada cruzada (CLT), que no solo reduce las emisiones de CO₂ durante la construcción, sino que también actúa como un sumidero de carbono a lo largo del tiempo (Nakahara & Yamamoto, 2021).

Tabla 1. Comparación Internacional de Normativas y Prácticas Sostenibles

País	Normativa/Práctica Implementada	Resultados Clave	Aplicabilidad en Ecuador
Alemania	Estándar Passivhaus	Reducción del consumo energético en más del 50%	Aplicable con incentivos financieros adecuados
Suecia	Integración de energías renovables	Amplia adopción de tecnologías solares y eólicas	Implementación limitada por costos iniciales
Japón	Uso de madera laminada cruzada (CLT)	Reducción de CO ₂ durante la construcción y actuación como sumidero	Potencial uso de bambú y otros materiales locales

Dinamarca	Regulación para energías renovables	Subvenciones para paneles solares y compra de energía excedente	No existe marco regulador similar
Ecuador	Uso de bambú en algunos proyectos	Adopción limitada por percepción de menor durabilidad y costos	Potencial para expansión si se ofrecen incentivos

Esta comparación destaca varias brechas que Ecuador podría abordar para mejorar su posicionamiento en cuanto a sostenibilidad en la construcción. Entre las principales recomendaciones se encuentran el desarrollo de normativas más estrictas, el fomento del uso de materiales sostenibles, y la creación de subsidios para la integración de energías renovables.

4. Conclusiones

El presente estudio ha permitido identificar las principales tendencias, barreras y oportunidades en la implementación de prácticas sostenibles en la construcción civil en Ecuador. Si bien hay un creciente interés por adoptar estrategias de eficiencia energética y el uso de materiales ecológicos, el país aún enfrenta retos significativos, principalmente debido a los altos costos iniciales, los incentivos financieros insuficientes, y la falta de

un marco normativo robusto que regule la construcción sostenible.

Las comparaciones internacionales con países como Alemania, Suecia y Japón revelan que estos países han avanzado en la adopción de diseños pasivos, energías renovables y materiales sostenibles, gracias a políticas públicas claras y fuertes. Ecuador, por su parte, tiene la oportunidad de mejorar sus normativas, adaptando estas experiencias internacionales a su contexto local. Las barreras económicas actuales, como los costos iniciales elevados y la falta de subvenciones adecuadas, limitan la adopción de tecnologías limpias, pero se vislumbran varias oportunidades para mejorar la eficiencia energética en las edificaciones.

Hallazgos más importantes

1. Tecnologías limpias y materiales sostenibles: La revisión de estudios muestra que el uso de

materiales locales, como el bambú y el ladrillo de tierra comprimida, aunque limitado por la percepción de menor durabilidad, tiene el potencial de reducir el impacto ambiental si se promueven incentivos financieros y se desarrollan normativas adecuadas.

2. Políticas públicas: Los países que han logrado avances significativos en sostenibilidad han implementado normativas estrictas como el estándar Passivhaus, que regula el uso eficiente de energía en las edificaciones. En Ecuador, la normativa actual, aunque en desarrollo, aún no ofrece una regulación tan estricta.
3. Energías renovables: La integración de paneles solares y sistemas eólicos en construcciones de países como Suecia y Dinamarca ha sido posible gracias a políticas de subsidios y regulaciones para la compra de energía excedente. Ecuador enfrenta una adopción limitada de estas tecnologías debido a los altos costos iniciales y la falta de un marco regulador.

Aportaciones

El presente estudio resalta las oportunidades de implementar mejoras en las políticas públicas de Ecuador, sugiriendo la necesidad de crear incentivos fiscales y subsidios financieros que apoyen la adopción de energías renovables y materiales sostenibles en el sector de la construcción. Además, la investigación destaca la importancia de invertir en investigación y desarrollo de tecnologías limpias adaptadas a las características geográficas y climáticas del país.

Por su parte, la Ley de Eficiencia Energética del Ecuador impulsa la adopción de tecnologías limpias en la construcción, promoviendo la reducción del consumo energético a través de la integración de energías renovables (Asamblea Nacional del Ecuador, 2020)

Limitaciones

Este estudio se basa en una revisión de literatura que, si bien proporciona un análisis comparativo con experiencias internacionales, está limitada por la falta de estudios específicos sobre la sostenibilidad en la construcción en Ecuador. Además, la falta de datos

cuantitativos sobre el impacto económico de la adopción de tecnologías limpias en el país limita la evaluación precisa del retorno de inversión de estas tecnologías.

Líneas para futuras investigaciones

1. Análisis del ciclo de vida (ACV) de los materiales: Se requiere un análisis exhaustivo del impacto ambiental y económico de los materiales de construcción utilizados en Ecuador mediante un enfoque de ciclo de vida completo. Esto permitirá identificar los materiales más sostenibles a largo plazo y ofrecer recomendaciones para su uso en futuros proyectos.
2. Adaptación al cambio climático en la construcción: Investigaciones futuras deben centrarse en cómo las prácticas de construcción sostenible pueden adaptarse a la diversidad climática del país, desarrollando diseños bioclimáticos que maximicen la eficiencia energética en zonas de alta variabilidad climática, como la Amazonía y la Sierra.
3. Evaluación económica de prácticas sostenibles: Se sugiere

realizar estudios económicos que evalúen los costos de implementación y el retorno de inversión de diferentes tecnologías sostenibles en Ecuador. Estos estudios proporcionarán una base sólida para que los desarrolladores y las instituciones financieras tomen decisiones informadas sobre el financiamiento de estos proyectos.

4. Tecnologías emergentes en energías renovables: La exploración de nuevas tecnologías, como los sistemas de energía solar térmica y las turbinas eólicas de baja potencia, puede ofrecer soluciones adaptadas a las necesidades de las edificaciones rurales en Ecuador.

Concluimos que aun cuando Ecuador enfrenta desafíos importantes para la adopción masiva de prácticas sostenibles en la construcción, existen oportunidades claras para avanzar en la eficiencia energética y el uso de materiales sostenibles. La implementación de políticas públicas más estrictas, junto con el desarrollo de incentivos financieros y la promoción de

tecnologías limpias, puede posicionar a Ecuador como un líder en la construcción sostenible en la región.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.102736>

Bibliografía

Asamblea Nacional del Ecuador. (2020). Ley de Eficiencia Energética. Quito, Ecuador.

Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2022). Materials for sustainable building: A review. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1403-1419.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.142>

Eriksson, P., & Johansson, G. (2020). Energy-efficient building design in cold climates. *Building and Environment*, 177, 106854.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106854>

González, M., & Navarro, J. (2022). Passive design strategies for energy-efficient buildings. *Renewable Energy*, 195, 73-86.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.145>

Hernández-Moro, J., & Martínez-Duart, J. M. (2022). Renewable energy systems: Analysis of their economic viability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 555-564.

International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 9000: Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. Geneva, Switzerland.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2020). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Quito, Ecuador.

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2022). Informe anual sobre energía y sostenibilidad en Ecuador. Quito, Ecuador.

Nakahara, K., & Yamamoto, T. (2021). Sustainable building materials and construction techniques in Japan. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102332.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102332>

Pérez, M., & Márquez, L. A. (2019). Ecoinvolúcrate, la estrategia de Ecuador para la construcción de Edificios de Energía Casi Nula. *Revista de Arquitectura Sostenible*, 12(1), 45-58.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.102837>

Quintero Zambrano, J. P., & Espinoza, M. A. (2023). Proyecto de viviendas

sostenibles en Quito: Un modelo a seguir. *Revista de Arquitectura Sostenible*, 12(1), 45-58.

Rojas, J. A. (2023). Concienciación y adopción de prácticas sostenibles en la construcción en Ecuador. *Revista de Desarrollo Sostenible*, 7(2), 99-113.