

DOI: <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v1/n4/22>

Evaluación del ciclo de vida en edificaciones e infraestructura sostenible.

Life cycle assessment in sustainable buildings and infrastructure.

Moran-González, Miguel Ramon ¹.

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí; Ecuador; <https://orcid.org/0000-0002-6072-3599>;
miguel.moran@unesum.edu.ec.

Cita: Moran-González, M. R. (2024). Evaluación del ciclo de vida en edificaciones e infraestructura sostenible. *Revista De Investigación Y Liderazgo*, 1(4), 15-28. <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v1/n4/22>

Resumen

La creciente demanda de edificaciones e infraestructura en Ecuador y América Latina ha intensificado el consumo de materiales, energía y recursos, evidenciando la necesidad de evaluar sus impactos más allá de la fase de uso. El estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño ambiental y económico del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura sostenible mediante criterios adaptados a las condiciones constructivas y territoriales regionales. Se desarrolló una investigación cualitativa, documental, no experimental y longitudinal retrospectiva, basada en la revisión y análisis comparativo de literatura científica y estudios técnicos publicados entre 2020 y 2025. Los resultados mostraron que el concreto y el acero concentraron la mayor proporción del inventario de materiales, mientras que las etapas de producción y operación reunieron los impactos más relevantes; asimismo, los escenarios sostenibles redujeron el consumo de energía, agua y emisiones frente a las alternativas convencionales. La discusión evidenció que estas mejoras dependieron de la selección de materiales, la matriz energética, el mantenimiento, los límites del sistema y la disponibilidad de inventarios locales. Se concluyó que la evaluación integrada del ciclo de vida constituye una herramienta pertinente para orientar decisiones de diseño, inversión y gestión sostenible, aunque requiere mayor estandarización e incorporación de datos nacionales.

Palabras clave: evaluación del ciclo de vida; edificaciones sostenibles; infraestructura sostenible; desempeño ambiental; costo del ciclo de vida.

Abstract

The growing demand for buildings and infrastructure in Ecuador and Latin America has increased the consumption of materials, energy, and resources, highlighting the need to assess their impacts beyond the use phase. The study aimed to evaluate the environmental and economic performance of the life cycle of sustainable buildings and infrastructure using criteria adapted to regional construction and territorial conditions. A qualitative, documentary, non-experimental, and retrospective longitudinal study was conducted, based on a review and comparative analysis of scientific literature and technical studies published between 2020 and 2025. The results showed that concrete and steel accounted for the largest proportion of the material inventory, while the production and operation stages accounted for the most significant impacts; furthermore, sustainable scenarios reduced energy and water consumption as well as emissions compared to conventional alternatives. The discussion highlighted that these improvements depended on material selection, the energy mix, maintenance, system boundaries, and the availability of local materials. It was concluded that integrated life-cycle assessment is a relevant tool for guiding decisions regarding design, investment, and sustainable management, although it requires greater standardization and the incorporation of national data.

Keywords: life cycle assessment; sustainable buildings; sustainable infrastructure; environmental performance; life cycle cost.

1. Introducción

El entorno construido constituye un ámbito estratégico para la transición climática, debido a que las edificaciones representan aproximadamente el 32 % de la demanda mundial de energía y el 34 % de las emisiones globales de CO₂ vinculadas con la energía y los procesos productivos. Esta presión adquiere especial relevancia en América Latina, donde la expansión urbana incrementa simultáneamente la demanda de vivienda, infraestructura, materiales y servicios energéticos. En Ecuador, la construcción representa cerca del 4,2 % del producto interno bruto y durante 2024 se proyectan 32.253 edificaciones sobre un área aproximada de 8,9 millones de m², lo que evidencia su importancia económica y territorial. La unidad de análisis se delimita, por tanto, a los sistemas constructivos y proyectos representativos de edificaciones e infraestructura urbana ecuatoriana, considerados desde la extracción de materias primas hasta su operación, mantenimiento y disposición final. Bajo esta perspectiva, la evaluación del ciclo de vida permite identificar impactos que permanecen ocultos cuando el desempeño sostenible se valora únicamente durante la etapa de uso (United Nations Environment Programme [UNEP] & Global Alliance for Buildings and Construction [GlobalABC], 2025; Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2025).

La magnitud de la actividad constructiva convierte la selección de materiales, los procesos de fabricación, las distancias de transporte, el consumo operacional y las estrategias de mantenimiento en factores determinantes del desempeño ambiental y financiero. La evidencia ecuatoriana señala que los materiales pueden representar alrededor del 75 % del costo total de construcción, mientras que, en dos proyectos de vivienda social estudiados en Azuay y Cañar, el concreto concentra aproximadamente el 70 % de los materiales utilizados y el acero el 17 %. Estas proporciones muestran que las decisiones adoptadas durante el diseño generan efectos económicos y ambientales acumulativos que se extienden durante varias décadas de vida útil. Cuando dichos efectos no se evalúan integralmente, los menores costos iniciales pueden traducirse en mayores consumos energéticos, gastos de mantenimiento, emisiones, generación de residuos y requerimientos futuros de rehabilitación. La ausencia de criterios de ciclo de vida también limita la capacidad institucional para orientar inversiones públicas y privadas hacia soluciones técnicamente eficientes, socialmente accesibles y ambientalmente responsables (Vélez-Torres et al., 2025).

El desarrollo reciente de metodologías digitales demuestra avances relevantes, aunque persisten diferencias sustanciales en los límites del sistema, las unidades funcionales, las bases de inventario y los escenarios de vida útil utilizados. Una revisión de 135 publicaciones sobre integración entre modelado de información de construcción y sostenibilidad determina que el 86 % de los estudios realiza evaluaciones durante el diseño y que el 62 % se concentra en sus etapas iniciales, pero son escasas las validaciones efectuadas durante la construcción, la operación o la posocupación. De manera complementaria, únicamente el 9 % de las investigaciones sobre ciclo de vida del entorno construido aborda integralmente la escala urbana, debido a que predominan evaluaciones aisladas de edificios o componentes. Estas limitaciones se intensifican cuando se emplean inventarios internacionales sin ajustar la matriz eléctrica, el transporte, la disponibilidad de materiales, el clima o las prácticas locales de gestión de residuos. La brecha resulta relevante porque las diferencias metodológicas pueden modificar la jerarquización de alternativas y trasladar impactos entre etapas, territorios

o categorías ambientales sin hacerlos visibles (Berges-Alvarez et al., 2024; Salati et al., 2025; Seyedabadi & Eicker, 2023).

Las experiencias latinoamericanas confirman que la adaptación territorial mejora la utilidad de la evaluación del ciclo de vida, aunque sus aplicaciones continúan fragmentadas. La herramienta EVAMED, desarrollada para el contexto regional, evidencia que la incorporación de estrategias bioclimáticas puede reducir aproximadamente un 30 % la huella de carbono de un caso de estudio y disminuir el indicador operacional de 78,8 a 54,7 kg CO₂-eq/m²-año; no obstante, la comparación con una herramienta comercial presenta diferencias medias que pueden alcanzar el 40 % entre categorías de impacto. En Quito, la integración de evaluación del ciclo de vida, BIM y sistemas de información geográfica muestra ventajas ambientales de la concentración urbana frente a la expansión no planificada, mientras que Colombia dispone recientemente de una herramienta conjunta de evaluación ambiental y costos de ciclo de vida adaptada a materiales, procesos y condiciones nacionales. Estos avances evidencian la conveniencia de articular dimensiones ambientales, económicas y territoriales, pero también revelan la ausencia de un marco ecuatoriano integrado que abarque edificaciones e infraestructura y permita comparar alternativas con criterios homogéneos (Arvizu-Piña et al., 2023; Jorge-Ortiz et al., 2025; Revelo Cáceres et al., 2023; Vázquez-Rowe et al., 2021).

La ejecución de una evaluación contextualizada resulta viable debido a la disponibilidad creciente de estadísticas oficiales, información técnica de proyectos, modelos digitales y herramientas de análisis de acceso abierto. Durante 2024, el registro ecuatoriano incorpora 21.718 permisos de construcción, 41.230 viviendas proyectadas y 8.957.299 m² de área prevista, mientras que aproximadamente el 60 % de las edificaciones se concentra en provincias de la región Sierra. Estos registros pueden complementarse con presupuestos, cantidades de obra, consumos energéticos, distancias de transporte, especificaciones de materiales y escenarios de mantenimiento obtenidos mediante documentación técnica verificable. La utilización articulada de BIM, sistemas de información geográfica y programas de evaluación ambiental facilita la comparación de alternativas sin requerir infraestructura experimental de alta complejidad, lo que favorece su desarrollo dentro de recursos y periodos razonables. El tratamiento de información administrativa y técnica debe mantener la trazabilidad de las fuentes y, cuando se incorporen consultas a profesionales o actores institucionales, preservar la confidencialidad y evitar la recopilación innecesaria de datos personales (INEC, 2025; Arvizu-Piña et al., 2023; Revelo Cáceres et al., 2023).

Sobre esta base el estudio tiene como objetivo general evaluar el desempeño ambiental y económico del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura sostenible en Ecuador mediante criterios adaptados a las condiciones constructivas y territoriales del país. Para alcanzar este propósito se plantean tres objetivos específicos: analizar los inventarios de materiales, energía, transporte y residuos para cuantificar los impactos asociados con cada etapa; determinar la relación entre selección de materiales, consumo operacional, mantenimiento y costos acumulados; y comparar escenarios convencionales y sostenibles mediante indicadores medibles, entre ellos kg CO₂-eq/m², MJ/m², consumo de agua por unidad funcional y USD/m² durante la vida útil. La contribución esperada consiste en integrar información ambiental, económica y territorial dentro de un marco replicable que reduzca la dependencia de factores internacionales

y fortalezca la transparencia de las decisiones. Su originalidad radica en extender la evaluación más allá de edificios aislados e incorporar relaciones entre materiales, operación, costos e infraestructura, atendiendo las brechas de contextualización, temporalidad e integración identificadas en la literatura reciente (Jorge-Ortiz et al., 2025; Salati et al., 2025).

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló desde una perspectiva cualitativa orientada a interpretar críticamente la aplicación de la evaluación del ciclo de vida en edificaciones e infraestructura sostenible de Ecuador y América Latina. La elección respondió al interés de examinar criterios metodológicos, límites del sistema, supuestos técnicos, fuentes de información y formas de contextualización, sin recalcular inventarios ambientales ni generar estimaciones primarias de impacto. Las unidades de análisis estuvieron constituidas por artículos científicos, documentos técnicos, estudios de caso y herramientas metodológicas relacionadas con el desempeño ambiental y económico del entorno construido. Este abordaje permitió reconocer convergencias, diferencias y vacíos asociados con las condiciones territoriales de la región (Asdal & Reinertsen, 2022; Lim, 2025).

El estudio se estructuró mediante un diseño no experimental y longitudinal retrospectivo, debido a que las variables y los resultados documentados se analizaron sin intervención, manipulación deliberada ni modificación de los escenarios originales. La dimensión longitudinal se estableció mediante la revisión de publicaciones correspondientes al periodo 2020–2025, lo que permitió examinar la evolución de los métodos, las bases de inventario, la integración de tecnologías digitales y la incorporación de factores temporales en la evaluación de edificaciones. De esta manera, el análisis identificó cambios metodológicos y tendencias acumuladas, aunque no atribuyó relaciones causales ni efectos experimentales entre las variables estudiadas (Berges-Alvarez et al., 2024; Salati et al., 2025).

La investigación documental se ejecutó mediante búsquedas estructuradas en Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO, Redalyc y Google Scholar, utilizando combinaciones de los términos *life cycle assessment*, *building life cycle*, *sustainable infrastructure*, *embodied carbon*, *BIM-LCA*, “evaluación del ciclo de vida”, “edificaciones sostenibles”, “infraestructura sostenible”, “Ecuador” y “América Latina”. La identificación, depuración y organización de los registros siguió criterios de transparencia derivados de PRISMA 2020, aunque el procedimiento mantuvo una orientación cualitativa y no correspondió a un metaanálisis. La búsqueda priorizó literatura científica revisada por pares y documentos técnicos con trazabilidad metodológica suficiente para permitir su interpretación y comparación (Barbhuiya & Das, 2023; Page et al., 2021).

El corpus documental incorporó investigaciones publicadas en español, inglés o portugués que analizaron edificios, viviendas, sistemas constructivos, materiales o infraestructura mediante una perspectiva de ciclo de vida y que presentaron información verificable sobre unidad funcional, etapas evaluadas, indicadores ambientales, costos o condiciones territoriales. Se excluyeron registros duplicados, documentos sin acceso a información metodológica suficiente, estudios ajenos al entorno construido y

publicaciones que emplearon el término sostenibilidad sin integrar criterios de ciclo de vida. La población estuvo representada por el universo de documentos recuperados que cumplieron los criterios establecidos, mientras que la selección se realizó mediante muestreo intencional por pertinencia; por ello, no se aplicó una fórmula probabilística para población finita ni se efectuó inferencia de proporciones (Arvizu-Piña et al., 2023; Jorge-Ortiz et al., 2025; Revelo Cáceres et al., 2023).

La información seleccionada se sistematizó en una matriz de análisis que registró año, país, tipología constructiva, escala territorial, unidad funcional, vida útil considerada, límites del sistema, etapas del ciclo de vida, materiales evaluados, fuentes de inventario, programas informáticos, categorías de impacto, indicadores económicos y limitaciones declaradas. La interpretación combinó razonamientos deductivo, inductivo y analítico: las categorías iniciales se derivaron de la literatura especializada, mientras que los patrones emergentes se incorporaron durante la lectura comparativa de los documentos. Posteriormente, la síntesis relacionó los hallazgos con las condiciones de Ecuador y América Latina, prestando especial atención a la disponibilidad de datos locales y a la comparabilidad metodológica (Barbhuiya & Das, 2023; Nicmanis, 2024).

La consistencia del análisis se fortaleció mediante la contrastación entre artículos científicos, estudios regionales y documentos técnicos, así como mediante la revisión reiterada de las categorías, la conservación de registros de búsqueda y la verificación de correspondencia entre interpretaciones y fuentes originales. El alcance fue evaluativo, descriptivo y comparativo, dado que permitió caracterizar prácticas metodológicas, valorar su pertinencia territorial e identificar oportunidades de mejora, pero no pretendió demostrar causalidad experimental ni generalizar estadísticamente los resultados. Debido a que se utilizaron documentos de acceso público y no participaron personas, no se recopilaron datos personales; aun así, se mantuvieron criterios de integridad académica, trazabilidad, atribución de autoría y uso responsable de la información (Lim, 2025; Nicmanis, 2024; Page et al., 2021).

3. Resultados

Inventario de materiales, energía, transporte y residuos por etapa del ciclo de vida

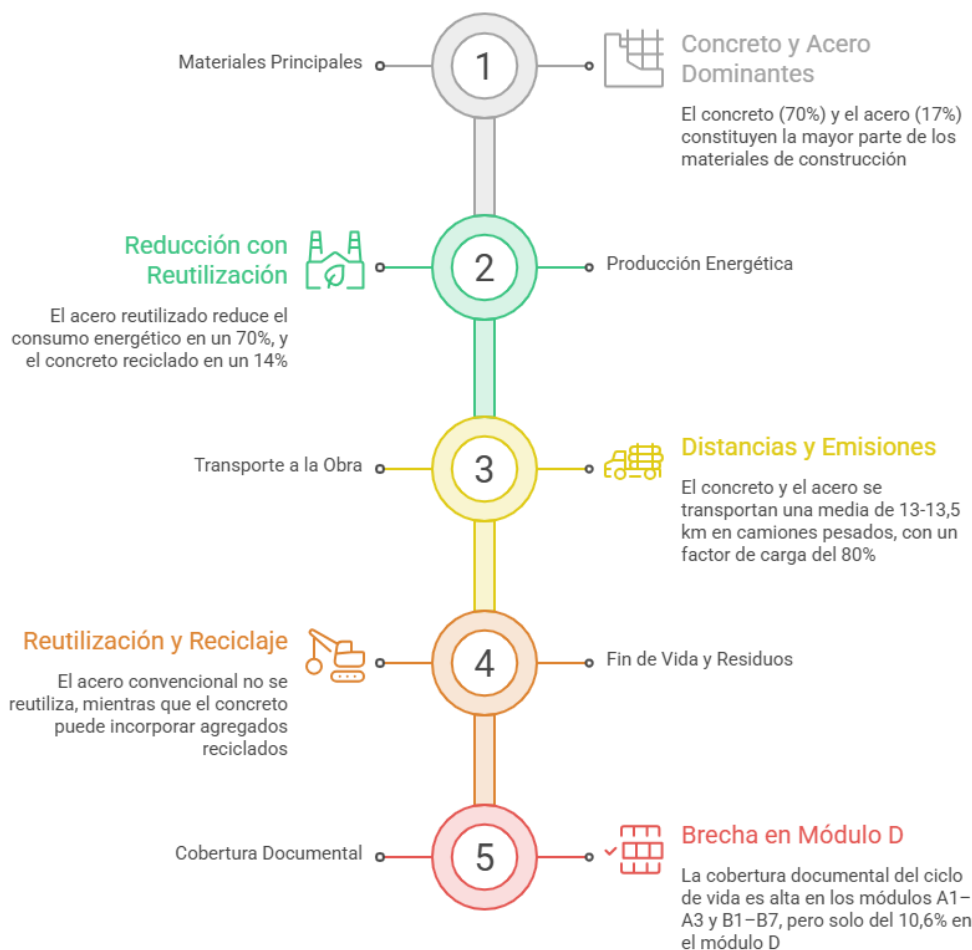
El subapartado examinó la distribución de los flujos de materiales, energía, transporte y residuos identificados en las evaluaciones del ciclo de vida aplicadas a edificaciones e infraestructura. La síntesis documental mostró que los inventarios se concentraron principalmente en los módulos de producto A1–A3 y de operación B1–B7, mientras que la etapa posterior al fin de vida presentó una cobertura reducida. De los 113 estudios originales examinados en la revisión de referencia, únicamente 12 incorporaron el módulo D, equivalentes al 10,6 % del conjunto analizado. También se registraron omisiones parciales de transporte y consumo de agua, lo que restringió la homogeneidad de los inventarios disponibles. Debido al carácter documental de los datos, no se calcularon medias agrupadas, desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores de significancia estadística (Berges-Alvarez et al., 2024).

La caracterización de los materiales utilizados en los casos ecuatorianos mostró una elevada concentración en dos componentes estructurales: el concreto representó aproximadamente el 70 % del volumen de materiales considerado y el acero alcanzó el

17 %, por lo que ambos reunieron el 87 % del inventario analizado. Para un metro cúbico de concreto convencional se registraron 0,24 m³ de agua, 0,65 m³ de arena, 0,95 m³ de grava, 360,50 kg de cemento y 0,30 kg de aditivo plastificante. El escenario alternativo incorporó una sustitución del 30 % del cemento mediante puzolana calcinada y utilizó agregados procedentes de residuos de construcción. La unidad funcional permitió organizar los flujos de entrada desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los materiales evaluados (Alvarado-Palacios et al., 2025).

Figura 1

Ciclo de vida de materiales en edificaciones ecuatorianas



Nota: Autores (2024)

El esquema mostró que las distancias registradas para el transporte del concreto y del acero fueron semejantes, con una diferencia de apenas 0,5 km, por lo que la mayor variación cuantificada se concentró en los procesos de producción y en los escenarios de fin de vida. Para el acero, el consumo de energía primaria no renovable disminuyó de 14,82 a 4,44 MJ/kg, lo que representó una reducción del 70 % y una diferencia absoluta de 10,38 MJ/kg. En el concreto elaborado con materiales reciclados, el consumo energético reportado descendió de 2,775 a 2,400 MJ en la unidad declarada por el estudio, equivalente a una reducción aproximada del 14 %. El transporte se modeló mediante vehículos pesados Euro 4 de 20 toneladas, con un factor de carga del 80 % y un rendimiento estimado de 2,5 km/L (Alvarado-Palacios et al., 2025).

La síntesis del inventario mostró que las etapas de extracción y producción concentraron la mayor cantidad de flujos cuantificados, particularmente por el consumo de cemento y acero. La fase de fin de vida presentó una diferenciación más marcada entre escenarios: el caso convencional no consideró la reutilización del acero, mientras que la alternativa sostenible incorporó una tasa de reutilización del 100 %. Para el concreto se registró el empleo de agregados reciclados durante la producción, aunque no se incorporó una ruta cuantificada de reutilización posterior a la demolición. Los residuos se describieron principalmente mediante escenarios de aprovechamiento y disposición, sin reportarse masas consolidadas de residuos de construcción y demolición. En consecuencia, el inventario presentó mayor precisión para materiales y energía que para los flujos asociados con residuos y etapas posteriores al uso (Alvarado-Palacios et al., 2025; Berges-Alvarez et al., 2024).

Relación entre selección de materiales, consumo operacional, mantenimiento y costos acumulados

La sistematización del inventario tuvo como propósito identificar los principales flujos de materiales y recursos asociados con las etapas de extracción, producción, transporte y fin de vida de las edificaciones analizadas. Los datos correspondientes a los proyectos de vivienda social de Cuenca y Azogues mostraron que el concreto representó, en promedio, el 70 % de los materiales utilizados y el acero el 17 %, por lo que ambos componentes concentraron conjuntamente el 87 % del inventario seleccionado. La evaluación comprendió el ciclo desde la extracción de materias primas hasta la disposición final y empleó como referencia una unidad funcional de 1 kg de material incorporado en obra. Dentro de esta delimitación, las etapas de extracción y producción registraron la mayor concentración de consumos energéticos y flujos materiales (Vélez-Torres et al., 2025).

La desagregación de los procesos mostró que el transporte del concreto se modeló mediante una distancia de 13,5 km desde la planta hasta el proyecto, mientras que el acero recorrió una distancia media de 13,0 km desde el proveedor local. En ambos casos se consideraron vehículos pesados con un rendimiento de 2,5 km/L y un factor de carga del 80 %, por lo que la diferencia registrada entre las distancias fue de 0,5 km. El escenario alternativo del concreto incorporó agregados reciclados y sustituyó el 30 % del cemento por puzolana calcinada, mientras que el escenario sostenible del acero estableció una reutilización del 100 % al finalizar su ciclo de vida. Los principales valores del inventario y sus variaciones se presentan en la Tabla 1 (Vélez-Torres et al., 2025).

Tabla 1

Síntesis del inventario de materiales, transporte, recursos y fin de vida

Componente	Indicador	Escenario convencional	Escenario sostenible	Variación
Concreto	Participación promedio en el inventario	70 %	—	—
Acero	Participación promedio en el inventario	17 %	—	—
Concreto	Distancia de transporte	13,5 km	13,5 km	0 %

Componente Indicador		Escenario convencional	Escenario sostenible	Variación
Acero	Distancia de transporte	13,0 km	13,0 km	0 %
Acero	Consumo de agua	2,20 m ³ /kg	0,66 m ³ /kg	-70 %
Acero	Energía primaria no renovable	14,82 MJ/kg	4,44 MJ/kg	-70 %
Acero	Consumo de madera	0,0002 m ³ /kg	0,0002 m ³ /kg	0 %
Concreto	Consumo de agua	0,18 m ³ /m ³	0,14 m ³ /m ³	-22 %
Concreto	Energía primaria no renovable	2,775 MJ/m ³	2,400 MJ/m ³	-14 %
Concreto	Contenido de cemento	300 kg/m ³	170 kg/m ³	-43 %
Acero	Reutilización al final de la vida útil	0 %	100 %	+100 puntos porcentuales
Concreto	Reutilización posterior a la demolición	No considerada	No considerada	—

Nota: Los valores y unidades se conservaron conforme fueron declarados en el estudio documental; el guion indica que no correspondió calcular una variación. Los porcentajes de reducción representaron cambios descriptivos entre escenarios y no estimaciones inferenciales (Vélez-Torres et al., 2025).

Los contrastes cuantitativos evidenciaron que el escenario sostenible del acero redujo el consumo de agua de 2,20 a 0,66 m³/kg, equivalente a una diferencia absoluta de 1,54 m³/kg y una disminución relativa del 70 %. La energía primaria no renovable descendió de 14,82 a 4,44 MJ/kg, con una reducción absoluta de 10,38 MJ/kg y relativa del 70 %, mientras que el consumo de madera permaneció sin variación en 0,0002 m³/kg. En el concreto elaborado con materiales reciclados, el consumo de agua disminuyó en 0,04 m³/m³, la demanda energética se redujo en 0,375 MJ/m³ y el contenido de cemento descendió en 130 kg/m³. Estas diferencias representaron reducciones del 22 %, 14 % y 43 %, respectivamente (Vélez-Torres et al., 2025).

La caracterización del fin de vida mostró que el concreto incorporó residuos de construcción como agregados durante su fabricación, aunque no registró una ruta cuantificada de reutilización después de la demolición. El acero presentó dos condiciones diferenciadas: el escenario convencional lo destinó a residuo o chatarra sin procesamiento, mientras que el escenario alternativo consideró una tasa de reutilización del 100 %. No se reportaron masas totales de residuos, costos monetarios, medias, desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores *p*, debido a que los resultados correspondieron a una comparación documental de escenarios. De forma complementaria, la revisión de 113 investigaciones originales mostró que solo 12 estudios incorporaron el módulo D, equivalentes al 10,6 %, y registró omisiones parciales de transporte y consumo de agua; por consiguiente, el hallazgo central se concentró en el predominio de los flujos de materiales y energía durante la extracción y producción, junto con una menor disponibilidad de datos cuantificados para el fin de vida (Berges-Alvarez et al., 2024; Vélez-Torres et al., 2025).

Comparación del desempeño ambiental y económico entre escenarios convencionales y sostenibles

La comparación tuvo como propósito describir las variaciones ambientales y económicas registradas entre soluciones constructivas convencionales y alternativas sostenibles aplicadas en estudios de edificaciones latinoamericanas. Los resultados se organizaron según emisiones de gases de efecto invernadero, demanda energética, consumo operacional, costos iniciales y comportamiento económico durante la vida útil. Debido a que los estudios utilizaron unidades funcionales, periodos de referencia, monedas y límites del sistema diferentes, los valores no se integraron mediante una media ponderada. Tampoco se calcularon desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores p , dado que la evidencia correspondió a estudios de caso independientes y no a observaciones procedentes de una muestra estadística homogénea. En consecuencia, las diferencias se expresaron mediante variaciones absolutas y porcentuales reportadas para cada escenario evaluado (Arvizu-Piña et al., 2023; Bertoli et al., 2024; Jorge-Ortiz et al., 2025).

Los resultados obtenidos mediante la herramienta EVAMED mostraron que la incorporación de estrategias bioclimáticas redujo aproximadamente un 30 % la huella de carbono del caso evaluado. La intensidad de emisiones durante la fase de uso disminuyó de 78,8 a 54,7 kg CO₂-eq/m²·año, lo que representó una reducción absoluta de 24,1 kg CO₂-eq/m²·año y una variación relativa calculada del 30,6 %. Como resultado de esta disminución, la clasificación ambiental de la vivienda pasó de la categoría E a la categoría C dentro del indicador empleado. La validación efectuada frente a un programa comercial registró diferencias medias inferiores al 40 % entre las distintas categorías ambientales analizadas, por lo que los valores comparativos mantuvieron una variabilidad dependiente del método de cálculo y de las bases de datos utilizadas (Arvizu-Piña et al., 2023).

La evaluación integrada realizada para una vivienda unifamiliar en Brasil evidenció que las modificaciones sostenibles de la envolvente redujeron aproximadamente un 20 % el consumo anual de energía frente al escenario convencional. Estas intervenciones disminuyeron simultáneamente el potencial de calentamiento global en un 12 % y la demanda acumulada de energía en un 17 %. La incorporación de una matriz eléctrica con mayor participación de fuentes renovables produjo una reducción adicional del 25 % en el impacto ambiental estimado durante el ciclo de vida. En la dimensión económica, el costo inicial presentó variaciones entre combinaciones constructivas y modificó los costos posteriores asociados con el consumo energético y la reposición de componentes; además, el escenario convencional de referencia no obtuvo el mejor desempeño conjunto al integrar los criterios térmico, ambiental y económico. El estudio no proporcionó un porcentaje único de ahorro monetario aplicable a todas las alternativas, por lo que no se estimó una reducción financiera agregada (Bertoli et al., 2024).

La aplicación conjunta de evaluación ambiental y costo del ciclo de vida en Colombia examinó un edificio multifamiliar de 1.183,95 m², distribuido en seis niveles y compuesto por 24 viviendas de 42 m², bajo un periodo de referencia de 80 años. La etapa de operación, principalmente el módulo B6 correspondiente al consumo energético, registró la mayor contribución al potencial de calentamiento global, seguida por la producción de

materiales en los módulos A1–A3. Dentro de la etapa de producto, las ventanas de aluminio presentaron el mayor impacto ambiental y económico, seguidas por la estructura, la cimentación y la fachada de mampostería. Los costos fueron expresados en pesos colombianos y desagregados por etapa, elemento constructivo y grupo de materiales; sin embargo, los resultados principales publicados no presentaron un valor monetario total comparable con los casos de México y Brasil. Por esta razón, no se calcularon diferencias regionales de costo, periodos de recuperación ni valores presentes netos conjuntos (Jorge-Ortiz et al., 2025).

La síntesis comparativa mostró que los escenarios sostenibles registraron reducciones consistentes en los indicadores ambientales cuantificados, aunque la magnitud varió según la estrategia y el contexto territorial. La mayor disminución observada en la intensidad anual de carbono alcanzó el 30,6 %, mientras que la incorporación de una matriz eléctrica más limpia redujo un 25 % el impacto ambiental y las mejoras de envolvente disminuyeron un 20 % el consumo energético, un 12 % el potencial de calentamiento global y un 17 % la demanda acumulada de energía. Los resultados económicos evidenciaron que el menor costo inicial no coincidió necesariamente con el mejor desempeño durante el ciclo de vida, debido a la participación de la energía operacional, el mantenimiento y la reposición de componentes. No obstante, la heterogeneidad de monedas, horizontes temporales y métodos de actualización impidió obtener una media regional de ahorro económico o determinar diferencias estadísticamente significativas. El hallazgo central se concentró en la reducción ambiental de las alternativas sostenibles y en la influencia del desempeño operacional sobre los costos acumulados de las edificaciones (Bertoli et al., 2024; Jorge-Ortiz et al., 2025).

4. Discusión

El estudio tuvo como propósito evaluar el desempeño ambiental y económico del ciclo de vida de edificaciones e infraestructura sostenible mediante criterios contextualizados para Ecuador y América Latina. Los hallazgos sugieren que la mayor presión se concentró en la selección de materiales y en la etapa operacional, debido a la elevada participación del concreto y el acero en los inventarios y al peso acumulado del consumo energético durante la vida útil. La concentración conjunta del 87 % del inventario en ambos materiales evidenció que las decisiones adoptadas durante el diseño condicionaron una proporción relevante de los impactos posteriores, aunque esta relación no implicó causalidad directa por el carácter documental del estudio. Las reducciones registradas en energía primaria, consumo de agua y contenido de cemento mostraron que las alternativas sostenibles presentaron un mejor desempeño ambiental que los escenarios convencionales. Este patrón coincidió con la evidencia regional que identifica la producción de materiales y la operación como etapas prioritarias para la reducción de impactos en edificaciones (Vélez-Torres et al., 2025; Jorge-Ortiz et al., 2025).

La comparación con investigaciones latinoamericanas mostró convergencias en la dirección de los resultados, aunque la magnitud de las mejoras varió según el contexto climático, la matriz energética, los límites del sistema y las tecnologías consideradas. La disminución de 30,6 % en la intensidad anual de carbono obtenida mediante estrategias

bioclimáticas fue superior a las reducciones de 12 % en potencial de calentamiento global y 17 % en demanda acumulada de energía registradas para alternativas de envolvente en Brasil. Estas diferencias podrían explicarse por la configuración de los casos de estudio y por la influencia de la matriz eléctrica, cuya modificación produjo reducciones adicionales del impacto ambiental en el escenario brasileño. De manera complementaria, los resultados de Colombia confirmaron que la etapa de operación mantuvo una participación dominante y que determinados componentes, como las ventanas de aluminio, concentraron impactos ambientales y económicos relevantes. En conjunto, la evidencia parece indicar que no existe una única estrategia sostenible con resultados uniformes, sino combinaciones dependientes de las condiciones territoriales y de los supuestos metodológicos utilizados (Arvizu-Piña et al., 2023; Bertoli et al., 2024; Jorge-Ortiz et al., 2025).

El aporte metodológico del estudio radicó en integrar materiales, energía, transporte, residuos y costos dentro de una lectura común del ciclo de vida, superando parcialmente la evaluación fragmentada de componentes aislados. Los hallazgos respaldaron la conveniencia de vincular la evaluación ambiental con el costo del ciclo de vida, puesto que el menor desembolso inicial no coincidió necesariamente con el mejor desempeño acumulado cuando se incorporaron operación, mantenimiento y reposición. Esta interpretación reforzó la utilidad de emplear inventarios locales, herramientas BIM y sistemas de información geográfica para ajustar las comparaciones a condiciones constructivas, energéticas y territoriales específicas. No obstante, la reducida incorporación del módulo D, presente únicamente en el 10,6 % de los estudios revisados, evidenció que la reutilización, el reciclaje y los beneficios posteriores al fin de vida continuaron insuficientemente representados. Por ello, la adopción de marcos integrados podría mejorar la transparencia de las decisiones técnicas y económicas, siempre que se mantengan unidades funcionales y límites del sistema comparables (Berges-Alvarez et al., 2024; Revelo Cáceres et al., 2023; Salati et al., 2025).

Los resultados deben interpretarse con cautela porque la investigación se sustentó en estudios documentales con diferencias en escalas, monedas, horizontes temporales, categorías de impacto y disponibilidad de datos, lo que impidió calcular medias regionales, intervalos de confianza o diferencias estadísticamente significativas. La ausencia de costos monetarios homogéneos y de inventarios completos para residuos limitó la comparación económica entre países y redujo la precisión de las estimaciones asociadas con el fin de vida. A partir de estas restricciones, futuras investigaciones deberían desarrollar inventarios primarios para Ecuador, incorporar análisis dinámicos de operación y mantenimiento, evaluar infraestructura a escala urbana y aplicar análisis de sensibilidad e incertidumbre sobre vida útil, transporte, matriz energética y tasas de reutilización. También resultaría pertinente estandarizar indicadores ambientales y económicos por unidad funcional para facilitar comparaciones entre sistemas constructivos y territorios. En síntesis, el estudio contribuyó a cubrir la brecha de integración y contextualización identificada al mostrar que la sostenibilidad de las edificaciones no dependió de una etapa aislada, sino de la interacción entre materiales, operación, costos y estrategias de circularidad a lo largo del ciclo de vida (Seyedabadi & Eicker, 2023; Salati et al., 2025).

5. Conclusiones

Los resultados permiten concluir que la evaluación del ciclo de vida constituye un enfoque pertinente para valorar de manera integrada el desempeño ambiental y económico de las edificaciones e infraestructuras sostenibles en Ecuador y América Latina. El análisis evidencia que los impactos más relevantes se concentran en la selección de materiales, los procesos de producción y la etapa operacional, por lo que la sostenibilidad no puede examinarse únicamente a partir del costo inicial o del consumo durante el uso. La consideración conjunta de energía, agua, emisiones, mantenimiento, reposición y fin de vida permite reconocer cargas que permanecen ocultas en evaluaciones parciales. Dentro del alcance documental del estudio, las alternativas sostenibles muestran un desempeño ambiental más favorable que los escenarios convencionales. Esta tendencia respalda la necesidad de adoptar criterios territoriales y de ciclo de vida en la planificación y evaluación de proyectos.

La integración de los hallazgos vinculados con los objetivos específicos muestra que el concreto y el acero concentran una proporción sustancial del inventario de materiales, mientras que las etapas de extracción y producción reúnen los principales consumos de recursos. Las alternativas que incorporan sustitución parcial de cemento, materiales reciclados y reutilización del acero presentan reducciones relevantes en energía primaria, consumo de agua y demanda de materias primas. De forma complementaria, los escenarios sostenibles registran disminuciones de hasta 30,6 % en la intensidad anual de carbono y mejoras en el consumo energético operacional. Sin embargo, la limitada incorporación del módulo D, presente en apenas el 10,6 % de los estudios revisados, revela una cobertura insuficiente de los beneficios asociados con reutilización, reciclaje y recuperación posterior al fin de vida. En conjunto, los hallazgos evidencian que el desempeño depende de la interacción entre materiales, operación, mantenimiento, costos y estrategias de circularidad.

El principal aporte de la investigación consiste en articular las dimensiones ambiental, económica y territorial dentro de una lectura común del ciclo de vida, lo que amplía la comprensión de la sostenibilidad más allá del análisis aislado de componentes o etapas. Esta integración ofrece una base metodológica útil para comparar alternativas constructivas, orientar decisiones de diseño y fortalecer la evaluación de inversiones públicas y privadas. En el ámbito profesional e institucional, los resultados sugieren que el menor costo inicial no representa necesariamente la opción más conveniente cuando se consideran los consumos operacionales, las necesidades de mantenimiento y la reposición de elementos durante la vida útil. Asimismo, el empleo de inventarios locales y herramientas digitales puede favorecer análisis más transparentes y ajustados a las condiciones de Ecuador. De este modo, el estudio contribuye a reducir la fragmentación metodológica identificada en la evaluación regional de edificaciones e infraestructura.

A partir de los resultados, se recomienda fortalecer la generación de inventarios nacionales sobre materiales, transporte, energía, residuos y costos del ciclo de vida, con unidades funcionales y límites del sistema comparables. Las futuras investigaciones deberían incorporar datos primarios, análisis dinámicos de operación y mantenimiento, evaluación de infraestructura a escala urbana y procedimientos de sensibilidad e incertidumbre. También resulta pertinente ampliar el estudio de los escenarios de demolición, reutilización y reciclaje para representar con mayor precisión los beneficios

potenciales de la economía circular. Estas líneas permitirían mejorar la comparabilidad entre sistemas constructivos y apoyar decisiones técnicas con mayor pertinencia territorial. En síntesis, la contribución central radica en demostrar que la evaluación integrada del ciclo de vida ofrece una base consistente para abordar las brechas de contextualización, temporalidad y articulación entre desempeño ambiental y económico.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado-Palacios, K., Vélez-Torres, G., & Peñafiel, A. G. (2025). Análisis de ciclo de vida de materiales usados en viviendas sociales en Ecuador. *Maskana*, 16(1), 307–319.
- Arduin, D., Caldas, L. R., Paiva, R. de L. M., & Rocha, F. (2022). Life cycle assessment (LCA) in earth construction: A systematic literature review considering five construction techniques. *Sustainability*, 14(20), 13228. <https://doi.org/10.3390/su142013228>
- Arvizu-Piña, V. A., Armendáriz López, J. F., García González, A. A., & Barrera Alarcón, I. G. (2023). An open access online tool for LCA in building's early design stage in the Latin American context: A screening LCA case study for a bioclimatic building. *Energy and Buildings*, 295, 113269. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113269>.
- Asdal, K., & Reinertsen, H. (2022). *Doing document analysis: A practice-oriented method*. SAGE Publications. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/doing-document-analysis/book276193>
- Barbhuiya, S., & Das, B. B. (2023). Life cycle assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02326. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326>.
- Berges-Alvarez, I., Martínez-Rocamora, A., & Marrero, M. (2024). A systematic review of BIM-based life cycle sustainability assessment for buildings. *Sustainability*, 16(24), 11070. <https://doi.org/10.3390/su162411070>
- Bertoli, G., Timm, J., Ries, R., Torres, M., & Passuello, A. (2024). Life cycle integrated analysis of thermal, environmental and cost performance of building envelope system: Small house case study considering grid mix change in Brazil. *Energy and Buildings*, 310, 114096. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114096>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Estadísticas de Edificaciones (ESED) 2024: Boletín técnico*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2024/anual/3.2024_ES_ED_boletin_tecnico.pdf
- Jorge-Ortiz, A., Braulio-Gonzalo, M., & Bovea, M. D. (2025). Environmental and economic performance of residential buildings: LCA|LCC tool and case study in Colombia. *Building and Environment*, 269, 112459. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112459>

- Nicmanis, M. (2024). Reflexive content analysis: An approach to qualitative data analysis, reduction, and description. *International Journal of Qualitative Methods*, 23.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Revelo Cáceres, N., Garcia-Martinez, A., & Gómez de Cózar, J. C. (2023). Use of GIS and BIM tools in determining the life cycle impact of urban systems: Case study of residential buildings which apply the Eco-Efficiency Matrix in the city of Quito, Ecuador. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135485. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135485>.
- Salati, M., Aguiar Costa, A., & Silvestre, J. D. (2025). A comprehensive review of dynamic life cycle assessment for buildings: Exploring key processes and methodologies. *Sustainability*, 17(1), 159. <https://doi.org/10.3390/su17010159>.
- Salati, M., Costa, A. A., & Silvestre, J. D. (2025). A comprehensive review of dynamic life cycle assessment for buildings: Exploring key processes and methodologies. *Sustainability*, 17(1), 159. <https://doi.org/10.3390/su17010159>.
- Seyedabadi, M. R., & Eicker, U. (2023). A critical review of urban scale life cycle assessment of the built environment. *Sustainability Analytics and Modeling*, 3, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.samod.2023.100026>
- Vázquez-Rowe, I., Córdova-Arias, C., Brioso, X., & Santa-Cruz, S. (2021). A method to include life cycle assessment results in Choosing by Advantage multicriteria decision analysis: A case study for seismic retrofit in Peruvian primary schools. *Sustainability*, 13(15), 8139. <https://doi.org/10.3390/su13158139>
- Vélez-Torres, G., Alvarado-Palacios, K., & Peñafiel, A. G. (2025). Life cycle assessment of material used in social housing in Ecuador. *Maskana*, 16(1), 307–319. <https://doi.org/10.18537/mskn.16.01.19>.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.