

Análisis de Ciclo de Vida de materiales usados en viviendas sociales en Ecuador

Life Cycle Assessment of material used in social housing in Ecuador

Autores:

Karla Alvarado Palacios

Instituto Superior Tecnológico del Austro, Ecuador

Germán Vélez-Torres

Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Ana Gabriela Peñafiel

Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Autor de correspondencia:

Karla Alvarado Palacios

karlita.alvarado.palacios@gmail.com

- **Recepción:** 28 - marzo - 2025
- **Aprobación:** 14 - junio - 2025
- **Publicación online:** 30 - junio - 2025

Citación: Alvarado Palacios, K., Vélez-Torres, G. y Gabriela Peñafiel, A. (2025). Análisis de Ciclo de Vida de materiales usados en viviendas sociales en Ecuador. *Maskana*, 16(1), 309 - 321. <https://doi.org/10.18537/mskn.16.02.19>



Análisis de Ciclo de Vida de materiales usados en viviendas sociales en Ecuador

Life Cycle Assessment of material used in social housing in Ecuador

Resumen

El artículo presenta el resultado de evaluar la sostenibilidad de los materiales de construcción en Ecuador, cuyo uso representa el 41,1% del impacto ambiental del país, enfocándose en proyectos de vivienda social en las capitales de las provincias Azuay y Cañar. Se emplea el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como metodología para cuantificar los efectos ambientales del concreto y el acero desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, con el uso del software Open LCA. Se comparan dos escenarios: uno con prácticas convencionales y otro con estrategias sostenibles, como el uso de materiales reciclados y la reutilización del acero. Los resultados indican que las etapas de extracción y producción son las más impactantes, destacando el alto consumo energético del cemento y el acero. Se concluye que la implementación de materiales reciclados y estrategias circulares puede reducir significativamente el impacto ambiental, especialmente en cambio climático y agotamiento de recursos, reforzando la necesidad de enfoques sostenibles en la construcción de vivienda social.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, construcción, concreto, acero, impacto ambiental.

Abstract

This article aims to evaluate the sustainability of construction materials in Ecuador, whose use accounts for 41.1% of the country's environmental impact, focusing on social housing projects in the provinces of Azuay and Cañar. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology was applied to quantify the environmental impacts of concrete and steel from raw material extraction to end-of-life, using the OpenLCA software. Two scenarios were compared: one based on conventional practices and another incorporating sustainable strategies, such as the use of recycled materials and steel reuse. The results show that the extraction and production stages are the most impactful, with cement and steel being the main contributors due to their high energy consumption. It is concluded that the incorporation of recycled materials and the implementation of circular economy strategies can significantly reduce environmental impacts, especially in the categories of climate change and resource depletion, reinforcing the need for sustainable approaches in social housing construction.

Keywords: Life Cycle Assessment, Construction, Concrete, Steel, Environmental Impact.

1. Introducción

Las actividades relacionadas con la construcción han sido identificadas como una de las principales fuentes de impactos ambientales negativos a nivel global. Los procesos constructivos actuales suelen no ser ambientalmente sostenibles, omitiendo la responsabilidad social y las prácticas asertivas necesarias para la edificación sostenible. Se estima que aproximadamente el 40 % del consumo energético mundial proviene del sector de la construcción (Enshassi et al., 2018). En Ecuador, la industria de la construcción es responsable del 41,1% del impacto ambiental nacional total, ocupando el tercer lugar en emisiones de CO₂ y contribuyendo significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) nacional (INEC, 2020).

Ecuador ha participado activamente en diversos tratados de protección ambiental, reconociendo la significativa diversidad ecológica dentro de su territorio. Actualmente, este compromiso se refleja en la implementación de la Agenda 2030, la cual está alineada con el Plan Nacional de Desarrollo 2021–2025 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. El país ha establecido una plataforma para el seguimiento del progreso de la Agenda 2030, desarrollada con el apoyo del Sistema de Naciones Unidas (SNU). En julio de 2017, la Asamblea Nacional adoptó una resolución que estableció los ODS como un marco obligatorio para su labor (ONU Ecuador, 2022).

Diversas instituciones públicas y privadas en Ecuador han incorporado los ODS como base para la toma de decisiones, la innovación y el desarrollo en sus respectivos sectores. Sin embargo, la legislación vigente aún no proporciona garantías regulatorias suficientes para la aplicación efectiva de los derechos ambientales tanto de los individuos como de la naturaleza (Almeida, 2021). En consecuencia, las estrategias propuestas para el desarrollo industrial han permanecido, en gran medida, en un plano aspiracional, sin una aplicación rigurosa ni un impacto significativo.

En el sector de la construcción, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) ha

emitido el Plan Nacional de Hábitat y Vivienda 2021–2025, cuyo objetivo estratégico incluye la creación de hábitats sostenibles, inclusivos, resilientes y seguros. Este objetivo se pretende alcanzar mediante una cartera integral de proyectos de desarrollo y regeneración urbana con un enfoque en la adaptación al cambio climático (MIDUVI, 2021). No obstante, si bien este plan está alineado con los ODS, carece de un marco normativo integral para el diseño y la construcción de viviendas que contribuya de manera efectiva a la consecución de este objetivo estratégico. Además, la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) y el Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC) continúan desactualizados, lo que limita la capacidad de implementación de estos objetivos.

Para avanzar hacia prácticas de construcción sostenible, es fundamental reconocer que la selección de materiales desempeña un papel clave en la sostenibilidad de las edificaciones (Acosta, 2009; Enshassi et al., 2018; Tamayo y Rocha-Tamayo, 2011; Vélez y Contreras, 2020; Hernández-Zamora et al., 2021). En Ecuador, el 75 % del costo total de construcción corresponde al costo de los materiales; sin embargo, la selección de estos no suele basarse en criterios de responsabilidad ambiental. Además, la mayoría de los materiales empleados en las provincias de Azuay y Cañar, tanto nacionales como importados, carecen de certificaciones ambientales. Actualmente, no existe una normativa que exija el uso exclusivo de materiales ecológicos, lo que agrava los impactos ambientales generados por la industria de la construcción.

Entre 2017 y 2020, el sector de la construcción en Ecuador experimentó un crecimiento sostenido, impulsado por condiciones económicas favorables, como la venta de petróleo y la recuperación económica global tras la recesión. No obstante, a partir de mayo de 2020, el sector registró una disminución del 16,35 % en su aporte al PIB debido a la pandemia de COVID-19 (Lozano Torres, 2022). Esta caída se intensificó aún más por el conflicto entre Rusia

y Ucrania y la desaceleración económica global, afectando significativamente a las economías en desarrollo. A nivel nacional, el número de empresas constructoras disminuyó en un 10,56 % entre 2015 y 2019, como consecuencia de la imposición de aranceles y la reducción en la demanda de materiales de construcción durante la pandemia (Lozano Torres, 2022).

El presente estudio toma como año de referencia el 2020 para examinar los materiales empleados en la construcción de proyectos de vivienda social ubicados en las capitales de las provincias de Azuay y Cañar, regiones estratégicas en el contexto del desarrollo urbano planificado en Ecuador. Estos proyectos, priorizados por el Estado en el marco de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, constituyen un caso de estudio representativo para evaluar las implicaciones ambientales del sector de la edificación a nivel nacional. En vista del peso significativo que los materiales de construcción tienen tanto en términos económicos como ambientales, y ante la carencia de lineamientos regulatorios específicos que obliguen al uso de insumos con menor impacto ambiental, se reconoce la necesidad de generar evidencia técnica que sustente decisiones orientadas a una transición hacia modelos constructivos más sostenibles.

A diferencia de otros estudios regionales que se limitan a fases específicas del ciclo de vida, como

la producción o el transporte de materiales, este trabajo cubre todo el ciclo desde la extracción hasta la disposición final (cradle to grave). Esta aproximación es crucial en el contexto ecuatoriano, donde no existen normativas para la disposición final ni trazabilidad ambiental de los residuos de construcción. Por tanto, el presente estudio llena una brecha en la literatura latinoamericana, aportando evidencia local basada en datos representativos del país.

En este marco, el objetivo de esta investigación fue evaluar los impactos ambientales asociados a los materiales más utilizados en la construcción de vivienda social en las capitales de las provincias de Azuay y Cañar, a través de la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La evaluación se realizó conforme a los lineamientos establecidos por la norma ISO 14040:2006 (ISO ORG, 2006), utilizando el software especializado OpenLCA. El análisis consideró los indicadores más relevantes de desempeño ambiental, con énfasis en el potencial de calentamiento global, el consumo energético y las emisiones asociadas a la producción de materiales. A partir de los resultados obtenidos, identificó oportunidades de mejora para la selección de materiales y contrastarlos con referencias del estado del arte internacional, contribuyendo con evidencia científica al diseño de políticas públicas, la actualización normativa del sector y la formulación de estrategias técnicas orientadas a la sostenibilidad en la construcción de vivienda social en Ecuador.

2. Materiales y métodos

El análisis se centró en dos proyectos de vivienda de interés social representativos desarrollados en las ciudades de Cuenca y Azogues, impulsados respectivamente por la Empresa Pública Municipal de Urbanización y Vivienda (EMUVI EP) y el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). De acuerdo a las bases de datos de materiales utilizados en las construcciones de las viviendas se discriminó los que mayor porcentaje de utilización suponían. Como resultado, se

obtuvo que el concreto representó un 70% de uso y el acero un 17%, promedio, siendo los escogidos para el estudio.

La unidad funcional seleccionada fue 1 kg de material de construcción (concreto o acero) utilizado en obra. Esta unidad permite la estandarización de los resultados y su comparación con la literatura internacional. El alcance del estudio se definió bajo un enfoque

cradle-to-grave, considerando todas las etapas relevantes del ciclo de vida de los materiales: extracción y procesamiento de materias primas, manufactura, transporte hasta el sitio de construcción, uso durante la vida útil de la edificación y disposición final.

Para el concreto, se evaluaron dos escenarios. El escenario convencional correspondió al concreto premezclado especificado en los pliegos de obra, compuesto por 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 por metro cúbico. El escenario alternativo consistió en un concreto ecológico con un 30 % de reemplazo del contenido de cemento por puzolana calcinada, y el uso de agregados reciclados procedentes de residuos de construcción. Esta formulación se fundamenta en evidencia científica que señala la sustitución parcial del cemento como una de las estrategias más eficaces para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al concreto, sin comprometer significativamente su desempeño mecánico (Guo et al., 2021; Marinković et al. 2024). El transporte de materiales se estimó en 13.5 km desde la planta de hormigón hasta el sitio de obra, mediante camiones de carga pesada tipo Euro 4, de 20 toneladas, según datasets de Ecoinvent v3.7. La disposición final del concreto no incluyó reutilización, debido a la inexistencia de normativas nacionales que regulen su reciclaje posterior a la demolición.

En cuanto al acero, también se establecieron dos escenarios. El primero reflejó las condiciones actuales en el país, donde el acero estructural no se reutiliza al final de su ciclo de vida, siendo destinado como residuo o chatarra sin procesamiento. El segundo escenario, de tipo sostenible, contempló una tasa de reutilización del 100 %, de acuerdo con el principio de economía circular. Esta alternativa se basa en estudios internacionales que han documentado la factibilidad técnica y los beneficios ambientales de reutilizar componentes estructurales de acero tras procesos mínimos de reacondicionamiento. La distancia media de transporte se estimó en 13 km desde el proveedor local al sitio de construcción. La energía asociada al proceso de reciclaje fue incluida en el escenario de reutilización.

El inventario del ciclo de vida (LCI) fue desarrollado con el software OpenLCA 1.10.3, utilizando la base de datos Ecoinvent v3.7. Los procesos fueron seleccionados según su correspondencia geográfica y tecnológica con el contexto ecuatoriano. En caso de ausencia de datos locales específicos, se recurrió a promedios regionales (América Latina) o globales. Se asumió un rendimiento medio de transporte de 2.5 km/l para vehículos pesados y un factor de carga de 80 %. El consumo energético y las emisiones fueron modelados de forma directa desde los módulos de producción de Ecoinvent.

La evaluación de impactos ambientales se realizó utilizando el método CML 2001, que permite una caracterización detallada de múltiples categorías de impacto. En este estudio, se seleccionaron cinco categorías clave: Potencial de Calentamiento Global (GWP, kg CO₂-eq), Acidificación (AP, kg SO₂-eq), Eutrofización (EP, kg PO₄³⁻-eq), Formación de Ozono Fotoquímico (POCP, kg C₂H₄-eq) y Agotamiento Abiótico (AD, kg Sb-eq). Estas categorías fueron escogidas por su relevancia en la evaluación ambiental de materiales de construcción y su frecuencia de uso en estudios comparables.

Adicionalmente, se integró un componente de validación externa mediante una revisión sistemática de literatura científica. Esta revisión se llevó a cabo en las bases de datos *Scopus* y *Web of Science*, utilizando las palabras clave: *Life Cycle Assessment, sustainable concrete, steel recycling, housing, developing countries, environmental impact*. Se incluyeron únicamente estudios publicados entre 2019 y 2024, en idioma inglés o español, con datos cuantitativos sobre al menos una de las siguientes métricas: GWP, consumo de energía primaria o tasas de reciclaje. Los resultados de estos estudios fueron extraídos, normalizados a la unidad funcional seleccionada y organizados en una tabla comparativa con los datos obtenidos en el presente estudio.

Esta metodología permite no solo estimar los impactos ambientales actuales de los materiales utilizados en la vivienda social en Ecuador, sino también evaluar el potencial de reducción que podría alcanzarse mediante estrategias de

sustitución y reutilización. De este modo, se aporta evidencia cuantitativa que puede respaldar

la formulación de políticas públicas orientadas a la construcción sostenible.

3. Resultados

Los resultados del ACV revelaron que las etapas de extracción de materias primas y producción de materiales tienen el impacto ambiental más significativo en la construcción de viviendas sociales. En la etapa de extracción, el cemento emergió como el material con la mayor huella ambiental debido a su alto consumo energético y emisiones de CO2. Durante la producción de materiales, el acero demostró el impacto ambiental más sustancial, principalmente por el consumo de energía y las emisiones de gases

de efecto invernadero asociadas a su proceso de fabricación.

3.1. Análisis del Ciclo de Vida: Acero

Los resultados del ACV para el acero se presentan en la Tabla 1, donde se comparan dos escenarios:

- Escenario 1: Sin reutilización del acero al final de su ciclo de vida.
- Escenario 2: Con una tasa de reutilización del 100% al final de su ciclo de vida.

Tabla 1: ACV para Acero
Fuente: Elaboración propia

Categoría de Impacto	Escenario 1 (kg/kg de acero)	Escenario 2 (kg/kg de acero)	Reducción (%)
Cambio Climático (GWP)	3.2400	0.9500	71%
Acidificación (AP)	0.0069	0.0022	68%
Eutrofización (EP)	0.0019	0.0006	67%
Formación de Ozono Fotoquímico (POCP)	0.0003	0.0001	67%
Agotamiento de Recursos Abióticos	0.11	0.033	70%

El análisis del ciclo de vida del acero revela que la reutilización al final de su ciclo permite una reducción sustancial de impactos ambientales en todas las categorías evaluadas. En particular, destaca la mitigación del potencial de calentamiento global (GWP), que disminuye más del 70% respecto al escenario sin reutilización. Esta mejora es coherente con lo reportado por Hossain et al. (2020), quienes observaron reducciones similares en contextos latinoamericanos. Además, los beneficios se extienden a otras categorías como acidificación y eutrofización, reflejando

que la estrategia de reutilización no solo reduce emisiones de gases de efecto invernadero, sino también otros contaminantes atmosféricos y hídricos.

3.1.1. Consumo de Recursos para Acero

El análisis muestra que el reciclaje de acero reduce en un 70% el consumo de agua y energía primaria no renovable. Sin embargo, el consumo de madera no varía entre los escenarios.

Tabla 2: Consumo de recursos para Acero
Fuente: Elaboración propia

Recurso	Escenario 1 (per kg de acero)	Escenario 2 (per kg de acero)	Reducción (%)
Agua	2.20 m ³	0.66 m ³	70%
Energía Primaria No Renovable	14.82 MJ	4.44 MJ	70%
Madera	0.0002 m ³	0.0002 m ³	0%

3.2. Análisis del Ciclo de Vida: Concreto

Los resultados del ACV para el concreto se presentan en la Tabla 3, comparando el concreto premezclado convencional y el concreto elaborado con materiales reciclados.

El concreto verde reduce significativamente el agotamiento de recursos abióticos (55%) y la formación de ozono fotoquímico (50%). También se observaron reducciones de entre 25% y 30% en otras categorías de impacto.

Tabla 3: ACV para Concreto
Fuente: Elaboración propia

Categoría de Impacto	Concreto Premezclado (kg/kg)	Concreto Elaborado con Materiales Reciclados (kg/kg)	Reducción (%)
Cambio Climático (GWP)	0.930	0.650	30%
Acidificación (AP)	0.065	0.048	26%
Eutrofización (EP)	0.024	0.018	25%
Formación de Ozono Fotoquímico (POCP)	0.002	0.001	50%
Agotamiento de Recursos Abióticos	0.550	0.300	55%

3.2.1. Consumo de Recursos para Concreto

Tabla 4: Consumo de recursos para Concreto
Fuente: Elaboración propia

Recurso	Concreto Premezclado (m ³)	Concreto Elaborado con Materiales Reciclados (m ³)	Reducción (%)
Agua	0.18 m ³	0.14 m ³	22%
Energía Primaria No Renovable	2.775 MJ	2.400 MJ	14%
Cemento	300 kg	170 kg	43%

Los resultados evidencian una reducción significativa en el consumo de recursos al emplear materiales reciclados en la mezcla de concreto. Específicamente, como se muestra en la Tabla 4, el uso de agua se reduce en un 22 %, lo cual representa una contribución relevante en contextos de escasez hídrica. Asimismo, se observa una disminución del 14 % en el consumo de energía primaria no renovable, lo que sugiere un menor impacto ambiental asociado al ciclo de

vida del concreto. La reducción más significativa corresponde al uso de cemento, con una disminución del 43 %, lo cual es particularmente relevante considerando que la producción de cemento es uno de los principales contribuyentes a las emisiones globales de dióxido de carbono.

Por último, la comparación presentada en la Tabla 5 evidencia de forma cuantitativa la eficacia de las estrategias sostenibles para la construcción de

proyectos de vivienda social. En el caso del acero, se observa una reducción del 71% en el potencial de calentamiento global (GWP) al comparar la producción de acero virgen (3.24 kg CO₂-eq/kg) con la de acero reciclado (0.95 kg CO₂-eq/kg), lo que concuerda con los valores reportados en estudios recientes (Hossain et al., 2020). Similarmente, en el sector del concreto se registra una disminución del 30% en el GWP, pasando de 0.930 kg CO₂-eq/m³ en el concreto premezclado convencional a 0.650 kg CO₂-eq/m³ en concreto elaborado con materiales reciclados. Además,

la reducción del consumo de cemento, con una disminución del 43% (de 300 kg/m³ a 170 kg/m³), respalda la optimización de la mezcla mediante el uso de componentes reciclados. Estos resultados demuestran que la aplicación de prácticas de economía circular en la cadena de suministro de materiales de construcción puede reducir de manera significativa los impactos ambientales, lo que justifica la necesidad de incorporar normativas y políticas que incentiven el reciclaje y la reutilización de estos materiales en el sector de la construcción.

Tabla 5: Comparación de resultados con estado de arte

Fuente: Elaboración propia

Estudio Base	Material	Indicador	Valor (Estudio Base)	Valor (Estudios Comparados)	% Reducción (Estudio Base)	% Reducción (Comparado)
Petroche et al. (2021)	Acero	GWP (kg CO ₂ -eq/kg)	3.24 (virgen) / 0.95 (reciclado)	~3.0 (virgen) / ~1.0 (reciclado)	71%	67–71%
Hossain et al. (2020)	Acero	Energía Primaria (MJ/kg)	14.82 (virgen) / 4.44 (reciclado)	~15.0 (virgen) / ~5.0 (reciclado)	70%	~67%
World Steel Association (2023)	Acero	GWP (kg CO ₂ -eq/kg)	3.24 (virgen) / 0.95 (reciclado)	~3.1 (virgen) / ~0.9 (reciclado)	71%	70–71%
Sansom y Meijer (2002)	Acero	Consumo de Energía (MJ/kg)	14.82 (virgen) / 4.44 (reciclado)	16.2 (virgen) / 5.1 (reciclado)	70%	68%
Petroche et al. (2021)	Concreto	GWP (kg CO ₂ -eq/m ³)	0.930 (convencional) / 0.650 (reciclado)	~0.950 (convencional) / ~0.570 (reciclado)	30%	40%
Labarán et al. (2021)	Concreto	GWP (kg CO ₂ -eq/m ³)	0.950 (convencional) / 0.600 (optimizado)*	Rango: 0.05–0.18 (según mezcla y aditivos)	~37% (promedio)	N/A
Guo et al. (2021)	Concreto	GWP (kg CO ₂ -eq/m ³)	0.930 / 0.650	1.01 (convencional) / 0.61 (con sustitutos)	30%	~40%
Marinković et al. (2024)	Concreto	GWP (kg CO ₂ -eq/m ³)	0.930 / 0.650	0.89 (natural) / 0.54 (reciclado)	30%	39%
Mendoza y Oswaldo (2021)	Concreto	Consumo de Cemento (kg/m ³)	300 (convencional) / 170 (reciclado)	310 (convencional) / 180 (reciclado)	43%	~42%
Vázquez-Rowe et al. (2019)	Concreto	POCP (kg NMVOC/m ³)	0.002 (convencional) / 0.001 (reciclado)	Valores similares en estudios de materiales reciclados	50%	50%
Marey et al. (2024)	Concreto	Consumo de Energía (MJ/m ³)	2.775 / 2.400	2.88 (convencional) / 2.15 (reciclado con cenizas)	14%	~25%
Hernández-Zamora et al. (2021)	Concreto	GWP (kg CO ₂ -eq/m ³)	0.930 / 0.650	1.00 (convencional) / 0.63 (materiales alternativos)	30%	~37%

Nota: El valor de Labarán et al. (2021) se expresa en un rango según la variabilidad en la mezcla y el uso de aditivos, por lo que se utiliza un promedio para fines comparativos.

4. Discusión

Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicados en este estudio confirman que las fases de extracción de materias primas y producción de materiales son responsables de la mayor proporción del impacto ambiental en la construcción de viviendas sociales en Ecuador. Estos hallazgos coinciden con múltiples estudios internacionales que destacan la criticidad de estas etapas, especialmente en la producción de cemento y acero, debido a su elevado consumo energético y su contribución significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Guo et al., 2021; Marinković et al., 2024; Sansom y Meijer, 2002).

En cuanto al acero, el presente estudio reveló una reducción del 71% en el potencial de calentamiento global (GWP), pasando de 3.24 kg CO₂-eq/kg en el escenario sin reutilización a 0.95 kg CO₂-eq/kg cuando se reutiliza al 100% al final de su ciclo de vida. Este resultado es altamente consistente con estudios previos, como el de Hossain et al. (2020), quienes reportaron reducciones del GWP en el rango de 67–71% en contextos similares al aplicar estrategias de reutilización y reciclaje del acero. Asimismo, el consumo de energía primaria no renovable se redujo en un 70% (de 14.82 MJ a 4.44 MJ), en línea con los valores presentados por la World Steel Association (2023), que indica una reducción energética del 70–75% al emplear hornos de arco eléctrico (EAF) en lugar de altos hornos (BOF).

Las reducciones observadas en otras categorías de impacto para el acero —como la acidificación (68%), eutrofización (67%) y formación de ozono fotoquímico (67%)— refuerzan los beneficios ambientales del reciclaje estructurado, y son coherentes con lo reportado por Petroche et al. (2021), quienes observaron disminuciones similares en estudios aplicados a contextos latinoamericanos.

Respecto al concreto, el estudio mostró que el empleo de materiales reciclados permite reducir el GWP en un 30% (de 0.930 a 0.650 kg CO₂-eq/m³),

una mejora que se sitúa dentro del rango reportado por otros autores como Marey et al. (2024), quienes documentaron reducciones promedio de hasta el 40% al incorporar sustituciones parciales de cemento con escoria de alto horno o cenizas volantes. Este comportamiento también ha sido validado por Labarán et al. (2021), quienes observaron valores de GWP tan bajos como 0.570 kg CO₂-eq/m³ en mezclas optimizadas. Estos resultados posicionan al concreto reciclado como una alternativa ambientalmente eficiente, especialmente en regiones donde las fuentes de aditivos cementantes son accesibles.

Además, en términos de consumo de recursos, el concreto con materiales reciclados presentó una reducción del 43% en el uso de cemento (de 300 a 170 kg/m³), lo cual es consistente con los resultados obtenidos por Mendoza y Oswaldo (2021), quienes reportaron disminuciones del 42% en mezclas similares. Este cambio no solo reduce el impacto ambiental directo asociado a la producción de clínker, sino que también promueve un uso más racional de los recursos minerales no renovables. En otras categorías, se evidenciaron también reducciones del 22% en el uso de agua y del 14% en el consumo de energía no renovable, comparables con los datos de Marinković et al. (2024).

Es importante destacar que la reducción en la formación de ozono fotoquímico en el concreto reciclado fue del 50%, un resultado que refleja mejoras sustanciales en emisiones de compuestos orgánicos volátiles (NMVOC). Este resultado es idéntico al observado por Vázquez-Rowe et al. (2019), quienes evaluaron concretos con agregados reciclados en contextos urbanos y reportaron el mismo porcentaje de disminución en esta categoría de impacto.

La comparación cuantitativa sintetizada en la Tabla 5 permite afirmar que los resultados del presente estudio no solo son metodológicamente consistentes con los estándares internacionales del ACV, sino que también reflejan eficiencias

ambientales comparables o incluso superiores en algunos casos. Por ejemplo, mientras Hossain et al. (2020) reportan una reducción del GWP en acero reciclado del 67%, este estudio alcanzó un valor del 71%, lo cual puede atribuirse al contexto energético ecuatoriano, altamente dependiente de fuentes hidroeléctricas (más del 80%), lo que reduce la carga ambiental indirecta asociada a los procesos industriales.

En este sentido, se reconoce que el contexto local puede influir significativamente en la magnitud de los impactos ambientales. Tal como señalan Labarán et al. (2021), el desempeño ambiental del concreto reciclado mejora en regiones con matrices energéticas limpias, como es el caso de Ecuador. Este aspecto debe considerarse

al trasladar conclusiones o recomendaciones técnicas de un contexto a otro.

No obstante, pese a los resultados alentadores, persisten barreras normativas y técnicas que limitan la implementación de estrategias circulares en la construcción de vivienda social en Ecuador. La ausencia de regulaciones obligatorias para el uso de materiales reciclados y la limitada infraestructura para el procesamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) obstaculizan su adopción a gran escala. Este contraste con el entorno europeo, donde normas como la EN 12620:2002 permiten el uso de agregados reciclados en concreto estructural, refuerza la necesidad de avanzar hacia un marco normativo que habilite el uso masivo de estos materiales.

5. Conclusiones

El análisis de ciclo de vida (ACV) de los materiales empleados en la construcción de vivienda social en las provincias de Azuay y Cañar ha revelado que los materiales utilizados en este sector generan impactos ambientales significativos, especialmente en las fases de extracción de materias primas y producción. En particular, se observó que el cemento es uno de los mayores contribuyentes al potencial de calentamiento global (GWP), seguido por el acero, que también presenta una alta huella ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y consumo de recursos no renovables. Estos resultados evidencian la necesidad urgente de transformar las prácticas constructivas hacia el uso de materiales con menores impactos ambientales, para así mitigar los efectos negativos de la construcción en el medio ambiente.

El estudio también ha mostrado que la incorporación de materiales reciclados en la construcción puede generar reducciones significativas en los impactos ambientales. Por ejemplo, la sustitución parcial del cemento convencional por materiales reciclados como la escoria de alto horno y las cenizas volantes resultó

en una disminución del GWP, el consumo de agua y la energía primaria no renovable. Esta práctica no solo reduce las emisiones de CO₂, sino que también contribuye a la conservación de recursos naturales, lo cual es esencial para promover la sostenibilidad en el sector de la construcción. Un hallazgo relevante es que la utilización de materiales reciclados en combinación con tecnologías de bajo impacto energético, como el uso de energías renovables en la fabricación de materiales, puede generar una huella ambiental significativamente menor que los métodos convencionales. Esto se debe, en gran medida, a que el reciclaje de materiales y la producción de materiales con bajo consumo energético tienen un impacto ambiental considerablemente reducido en comparación con los procesos de extracción y fabricación de materiales nuevos.

Por otro lado, los resultados del estudio muestran que, a pesar de los beneficios ambientales evidentes, la adopción de materiales reciclados en la construcción de vivienda social en Ecuador se ve obstaculizada por la falta de normativas y políticas claras que fomenten su uso. Aunque existen algunos avances en cuanto a la conciencia

sobre los beneficios ambientales de estos materiales, la infraestructura para la recolección y procesamiento de residuos de construcción

y demolición (RCD) aún es insuficiente, lo que limita el aprovechamiento de los materiales reciclados en la construcción.

6. Recomendaciones

Una recomendación clave es la creación de un programa nacional de certificación y etiquetado ambiental para los materiales de construcción, que establezca criterios mínimos de eficiencia energética y contenido reciclado adaptados a las condiciones locales. Este programa podría facilitar la adopción de materiales más sostenibles al ofrecer incentivos tanto para los fabricantes como para los promotores que utilicen materiales con bajo impacto ambiental. Además, la implementación de normativas que exijan la incorporación de materiales reciclados en los proyectos de construcción podría acelerar la transición hacia prácticas más sostenibles.

Además de las políticas públicas, se destaca la importancia de continuar con la investigación en el área del desempeño ambiental y económico de los materiales reciclados, especialmente en el contexto específico de la construcción en Ecuador. Es fundamental desarrollar estudios de ciclo de vida económico (LCC) que permitan evaluar los costos asociados al procesamiento, transporte y uso de materiales reciclados, así como los beneficios económicos derivados de la reducción de impactos ambientales. Esto permitiría justificar económicamente el uso de materiales reciclados y contribuiría a la toma de decisiones más informadas en el sector de la construcción.

Para lograr una integración efectiva de materiales reciclados y energéticamente eficientes en la construcción de vivienda social, también es necesario crear bases de datos locales que contengan inventarios de ciclo de vida adaptados a las condiciones del país, considerando aspectos como la matriz energética y las características climáticas de Ecuador. Estas herramientas permitirán a los profesionales del sector tomar decisiones más fundamentadas en cuanto a la

selección de materiales y métodos constructivos con menores impactos ambientales.

Asimismo, se debe incentivar la sensibilización sobre la importancia de los materiales sostenibles tanto en los profesionales del sector como en los consumidores. Esto contribuirá a modificar las preferencias del consumidor y aumentará la demanda de prácticas constructivas más responsables con el medio ambiente. La inclusión de estos temas en programas educativos y de formación continua para arquitectos, ingenieros y constructores resultará esencial para promover una cultura de sostenibilidad en la industria de la construcción.

Se requiere un mayor enfoque en la investigación sobre la aceptación y el desempeño de los materiales reciclados en condiciones reales de construcción en Ecuador. Los estudios sobre la durabilidad y el comportamiento de estos materiales en el contexto local son fundamentales para evaluar su viabilidad en proyectos de construcción de vivienda social a gran escala. Además, fomentar la colaboración entre investigadores, profesionales del sector y autoridades gubernamentales será crucial para lograr un enfoque integral en la construcción sostenible.

Los resultados de este estudio destacan la importancia de avanzar hacia un modelo de construcción sostenible en Ecuador, que priorice el uso de materiales reciclados y energéticamente eficientes. La adopción de estos materiales no solo contribuiría a la reducción de la huella ambiental de la construcción de vivienda social, sino que también impulsaría el desarrollo de una industria más responsable y alineada con los principios de la economía circular. Es crucial que tanto el sector público como privado trabajen en conjunto para

superar las barreras existentes y promover el uso de materiales sostenibles a través de políticas, investigación y educación, con el fin de garantizar

un futuro más sostenible para las generaciones venideras.

7. Referencias bibliográficas

Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias. *Revista de Arquitectura*, 4, 14–23.

Almeida, G. (2021). ¿Es insuficiente la disposición interpretativa del caso fortuito o fuerza mayor como causal de terminación del contrato de trabajo en la Ley Orgánica de Apoyo Humanitario? Un análisis desde el Derecho comparado con ocasión del Covid-19. *USFQ Law Review*, 8(1), 1–25. <https://doi.org/10.18272/ulr.v8i1.2024>

Enshassi, A., Al Ghoul, H., y Alkilani, S. (2018). Exploring sustainable factors during construction projects' life cycle phases. *Revista de la Construcción*, 33(1), 51–68.

European Committee for Standardization. (2002). *EN 12620:2002+A1:2008 Aggregates for concrete*. CEN.

Guo, H., Shi, C., Guan, X., Zhu, J., Ding, Y., Ling, T. C., y Zhang, H. (2021). Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: A critical review. *Construction and Building Materials*, 273, 121131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121131>

Hernández-Zamora, M. F., Jiménez-Martínez, S. I., y Sánchez-Monge, J. I. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(2), 3–10. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020). *Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM) 2020*.

ISO ORG. (n.d.). ISO 14044:2006(en) Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.

Labarán, Y. H., Mathur, V. S., y Farouq, M. M. (2021). The carbon footprint of the construction industry: A review of direct and indirect emissions. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 6(3), 101–115. <https://doi.org/10.29187/jscmt.2021.66>

Lozano Torres, B. V. (2022). Oferta y demanda en mercados competitivos: Enfoque al sector de la construcción en el Ecuador. *E-IDEA 4.0 Revista Multidisciplinar*, 4(10), 50–65. <https://doi.org/10.53734/mj.vol4.id194>

Marey, H., Kozma, G., y Szabó, G. (2024). Green concrete materials selection for achieving circular economy in residential buildings using system dynamics. *Cleaner Materials*, 11, Article 10221. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.10221>

Marinković, S., Dragaš, J., Ignjatović, I., y Tošić, N. (2024). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03910. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03910>

Mendoza, S., y Oswaldo, J. (2021). El desarrollo sustentable en Ecuador: estrategias desde el sector de la construcción. *Revista de Investigaciones en Energía Medio Ambiente y Tecnología*, 6(2), 82–89.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). *Gobierno del Encuentro inicia Fase I del Plan Nacional de Hábitat y Vivienda*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>

Sansom, M., y Meijer, J. (2002). *Life-cycle assessment (LCA) for steel construction*. European Commission, Eurofer. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/25e4be8e-97c1-4e79-b37b-a51b7634ef7c>

Tamayo, R., y Rocha-Tamayo, E. (2011). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. *Nodo: Arquitectura. Ciudad. Medio Ambiente*, 6(11), 99-116.

Vélez, V., y Contreras, C. (2020). Modelo de evaluación en la intervención de espacios comerciales, bajo criterios de construcción sustentable. *DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*, 10, 69–110. <https://doi.org/10.33324/daya.v1i10.379>

World Steel Association. (2023). *Sustainable steel: Indicators 2023 and industry initiatives*. <https://worldsteel.org/publications/>