

DOI: <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v3/n3/54>

Materiales sostenibles para la construcción de infraestructura urbana.

Sustainable materials for urban infrastructure construction.

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. (2026). Materiales sostenibles para la construcción de infraestructura urbana. *Revista De Investigación Y Liderazgo*, 3(3), 33-49. <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v3/n3/54>

Resumen

La expansión urbana y la elevada huella ambiental de la construcción evidenciaron la necesidad de evaluar materiales sostenibles aplicables a la infraestructura urbana de Ecuador y Latinoamérica. El estudio tuvo como objetivo analizar su sostenibilidad mediante dimensiones ambientales, técnicas, económicas y sociales, así como relacionar el contenido reciclado con las emisiones, la resistencia, la vida útil, el costo y las condiciones de adopción. Se desarrolló una investigación cualitativa, documental, no experimental y longitudinal retrospectiva, basada en literatura publicada entre 2020 y 2025, seleccionada en bases científicas y repositorios institucionales. Los resultados mostraron que la reducción del cemento y la incorporación de materiales cementantes suplementarios ofrecieron ventajas más consistentes que el aumento aislado de agregados reciclados; además, el potencial de calentamiento global del concreto osciló entre 278,35 y 524,44 kg de CO₂ equivalente por m³, mientras el sistema de bambú representó entre el 53% y el 64% del impacto de la mampostería reforzada. La interpretación evidenció que el desempeño dependió de la resistencia, la calidad, el transporte, la durabilidad y la capacidad institucional. Se concluyó que la adopción sostenible requiere evaluaciones integrales, trazables y contextualizadas, antes que decisiones basadas únicamente en el contenido reciclado.

Palabras clave: construcción sostenible; infraestructura urbana; materiales reciclados; análisis de ciclo de vida; economía circular.

Abstract

Urban expansion and the high environmental footprint of construction highlighted the need to evaluate sustainable materials applicable to urban infrastructure in Ecuador and Latin America. The study aimed to analyze their sustainability thru environmental, technical, economic, and social dimensions, as well as to relate the recycled content to emissions, strength, lifespan, cost, and adoption conditions. A qualitative, documentary, non-experimental, and retrospective longitudinal study was conducted, based on literature published between 2020 and 2025, selected from scientific databases and institutional repositories. The results showed that the reduction of cement and the incorporation of supplementary cementitious materials offered more consistent advantages than the isolated increase of recycled aggregates; moreover, the global warming potential of concrete ranged between 278.35 and 524.44 kg of CO₂ equivalent per m³, while the bamboo system represented between 53% and 64% of the impact of reinforced masonry. The interpretation revealed that performance depended on strength, quality, transportation, durability, and institutional capacity. It was concluded that sustainable adoption requires comprehensive, traceable, and contextualized evaluations, rather than decisions based solely on recycled content.

Keywords: sustainable construction; urban infrastructure; recycled materials; life cycle analysis; circular economy.

1. Introducción

La expansión urbana convierte la selección de materiales en una decisión estratégica para la sostenibilidad de la infraestructura, dado que cerca del 81% de la población latinoamericana reside en áreas urbanas y Ecuador registra aproximadamente un 63% bajo las definiciones nacionales de urbanización (United Nations, 2025; World Bank, 2025). A escala mundial, los edificios y la construcción representan entre el 11% y el 13% del producto interno bruto, emplean alrededor del 9% de la fuerza laboral, generan cerca del 37% de las emisiones de CO₂ y demandan casi el 50% de los materiales extraídos. Además, la inversión necesaria en eficiencia debe superar los USD 5,9 billones hasta 2030, lo que evidencia la dimensión financiera de la transición sectorial (UNEP & GlobalABC, 2026). En este escenario, la unidad de análisis comprende los materiales aplicables a vías, aceras, puentes, drenajes, espacios públicos y equipamientos urbanos ecuatorianos. Su evaluación incluye cementos de menor huella, concretos con adiciones minerales, áridos reciclados, componentes reutilizados y materiales biobasados disponibles en Ecuador y Latinoamérica.

Esta presión sobre los recursos adquiere mayor relevancia en Ecuador por la interacción entre volatilidad económica, demanda constructiva y limitada valorización de residuos. Los datos nacionales muestran que el PIB se contrae un 2,0% en 2024 y la formación bruta de capital fijo disminuye un 3,8%, aunque la construcción registra posteriormente un crecimiento interanual del 6,7% durante el segundo trimestre de 2025 (Banco Central del Ecuador [BCE], 2025a, 2025b). Paralelamente, el registro municipal consigna 14.394 toneladas diarias de residuos sólidos, de las cuales el 83,4% se recolecta sin diferenciación; la gestión cuesta USD 27 millones y requiere un subsidio municipal equivalente al 47,3% (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2023). El predominio del concreto reforzado en cimentaciones, estructuras y envoltentes del parque construido de Tungurahua confirma, además, la dependencia nacional de materiales minerales intensivos en recursos (Cabrera & Velasco, 2022). La continuidad de este patrón incrementa la extracción de agregados, la disposición final, los costos públicos y la exposición de las ciudades a cadenas de suministro vulnerables.

Las alternativas de menor impacto ofrecen beneficios cuantificables, aunque su desempeño depende de condiciones técnicas y territoriales que impiden calificarlas como sostenibles de manera automática. El análisis de 570 dosificaciones de concreto con agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios demuestra que las emisiones y el consumo energético varían con la relación agua-aglomerante, la resistencia a 28 días y los porcentajes de sustitución (Xing et al., 2023). De forma concordante, la comparación entre concreto convencional y reciclado identifica como variables decisivas la distancia de transporte, el contenido de cemento, la calidad del residuo y la durabilidad prevista (Hasheminezhad et al., 2024). En el ámbito latinoamericano, un sistema de muros de bambú desarrollado para El Salvador presenta el 64% del potencial de calentamiento global de una vivienda de mampostería reforzada, proporción que desciende al 53% cuando se contabiliza el carbono biogénico (Young et al., 2024). Estos resultados confirman que la sostenibilidad material requiere comparar prestaciones equivalentes, vida útil, mantenimiento, logística y escenarios de fin de vida.

El examen crítico de la literatura revela, sin embargo, una fragmentación metodológica que limita la transferencia de esos resultados hacia la infraestructura urbana

ecuatoriana. Más del 18% de los estudios de ciclo de vida sobre reciclaje de residuos de construcción y demolición no informa el software, la base de datos o el método de evaluación utilizado, mientras la calidad del material reciclado rara vez se incorpora al cálculo de sustitución (Bayram & Greiff, 2023). A esta inconsistencia se suma que la evaluación social carece de un marco sectorial estandarizado, pese a que se identifican 36 indicadores vinculados con derechos laborales, trabajo decente, seguridad y salud ocupacional (Backes & Traverso, 2024). En Ecuador, la evidencia localizada describe principalmente existencias materiales entre 2013 y 2019, pero no integra de forma simultánea huella ambiental, resistencia, costo de ciclo de vida, disponibilidad regional y riesgos sociales (Cabrera & Velasco, 2022). Por esta razón, permanece sin resolver qué alternativas mantienen ventajas cuando se consideran la matriz energética, las distancias de abastecimiento, el clima, la sismicidad y la capacidad institucional del país.

La necesidad de cerrar esta brecha justifica una evaluación contextualizada que vincule la protección ambiental con la asequibilidad, la seguridad estructural y la eficiencia del gasto público. Su relevancia social radica en que la durabilidad y la inocuidad de los materiales inciden en la continuidad de los servicios urbanos, las condiciones laborales y la exposición comunitaria a residuos, polvo y procesos de demolición, dimensiones que trascienden el indicador exclusivo de CO₂ (Backes & Traverso, 2024). El valor teórico surge de articular cuatro dimensiones (ambiental, técnica, económica y social), mientras la utilidad metodológica consiste en normalizar resultados por unidades funcionales comparables y efectuar análisis de sensibilidad. La investigación resulta viable porque dispone de series públicas para 221 gobiernos municipales, inventarios ecuatorianos de 2013–2019 y bases experimentales que reúnen 570 mezclas documentadas (INEC, 2023; Cabrera & Velasco, 2022; Xing et al., 2023). El empleo prioritario de información agregada, fichas técnicas y publicaciones científicas reduce el tratamiento de datos personales, sin excluir principios de transparencia, trazabilidad, confidencialidad y consentimiento cuando se incorporen consultas a especialistas.

A partir de esta delimitación, el estudio se propone analizar la sostenibilidad de los materiales utilizados o potencialmente aplicables en la construcción de infraestructura urbana ecuatoriana, considerando evidencia nacional y referentes latinoamericanos. Para alcanzar este propósito, busca describir los atributos ambientales, técnicos, económicos y sociales de cinco familias de materiales sostenibles; determinar la relación entre contenido reciclado, emisiones expresadas en kg de CO₂ equivalente, resistencia en MPa, vida útil en años y costo en USD por unidad funcional; comparar su desempeño con materiales convencionales mediante criterios homogéneos; y relacionar las barreras normativas, logísticas, financieras e institucionales con su potencial de adopción. Esta formulación evita que una reducción porcentual de emisiones o de costo se interprete aisladamente como sostenibilidad integral. Asimismo, permite diferenciar beneficios ambientales reales de desplazamientos de impacto ocasionados por mayor consumo de cemento, transporte prolongado o mantenimiento prematuro. La estructura analítica responde a las recomendaciones de integrar calidad, durabilidad, unidad funcional, incertidumbre y riesgos sociales en la comparación de materiales (Bayram & Greiff, 2023; Backes & Traverso, 2024; Hasheminezhad et al., 2024).

La contribución esperada consiste en generar una base argumentativa y metodológica que apoye decisiones académicas, empresariales y públicas sin proponer una solución universal desvinculada del territorio. La originalidad radica en integrar cuatro

dimensiones de sostenibilidad, cinco familias de materiales y tres escalas de decisión (producto, proyecto y contratación pública) dentro de un marco orientado a Ecuador. Este enfoque permite establecer cuándo una alternativa reciclada o biobasada conserva sus ventajas frente a cambios en transporte, electricidad, sustitución, resistencia y vida útil. También favorece la formulación de especificaciones técnicas, criterios de compra y prioridades de investigación sustentadas en indicadores verificables, en lugar de etiquetas comerciales de construcción verde. Así, el trabajo conecta la brecha de comparabilidad y transparencia identificada en los estudios de ciclo de vida con las particularidades materiales y económicas de las ciudades ecuatorianas, fortaleciendo una transición urbana circular, resiliente y técnicamente responsable (Bayram & Greiff, 2023; Hasheminezhad et al., 2024; Young et al., 2024).

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló desde una perspectiva cualitativa, debido a que se buscó interpretar los criterios con los cuales la literatura científica y técnica valoró los materiales sostenibles aplicables a la infraestructura urbana. Este abordaje permitió examinar significados, atributos, decisiones y restricciones asociadas con el desempeño ambiental, técnico, económico y social de cada alternativa. La atención se concentró en la manera en que los documentos explicaron la sostenibilidad, antes que en la comprobación estadística de hipótesis o en la medición experimental de materiales. También se interpretaron las relaciones entre circularidad, durabilidad, disponibilidad territorial, costos y reducción de impactos ambientales. De esta forma, se evitó reducir el análisis a un único indicador, como las emisiones de carbono o el porcentaje de contenido reciclado. La elección metodológica se mantuvo alineada con estudios cualitativos orientados a comprender fenómenos complejos mediante información textual contextualizada (Creswell & Creswell, 2023; Braun & Clarke, 2021).

La temporalidad del fenómeno se examinó mediante un diseño no experimental y longitudinal retrospectivo, en el cual no se manipularon materiales, procesos constructivos ni condiciones ambientales. La evolución de la evidencia se observó durante el periodo comprendido entre enero de 2020 y diciembre de 2025, con Ecuador como contexto principal y Latinoamérica como referente comparativo. Para facilitar el contraste temporal, la información se organizó en tres bloques bienales: 2020–2021, 2022–2023 y 2024–2025. Estos intervalos permitieron identificar cambios en los materiales estudiados, los indicadores empleados, las aplicaciones urbanas y las barreras de adopción reportadas. Las fuentes correspondientes a cada periodo se analizaron sin atribuir los cambios documentados a relaciones causales no comprobadas. La perspectiva longitudinal favoreció la interpretación de continuidades, transformaciones y vacíos de conocimiento a través del tiempo (Neale, 2021; Creswell & Creswell, 2023).

La construcción del corpus se estructuró como una investigación documental basada en artículos científicos, revisiones, informes técnicos, documentos institucionales, normas y lineamientos relacionados con construcción sostenible e infraestructura urbana. El razonamiento deductivo partió de cuatro dimensiones previamente definidas (ambiental, técnica, económica y social) y de categorías como ciclo de vida, circularidad, resistencia, durabilidad, costos y disponibilidad regional. De manera complementaria, el

razonamiento inductivo permitió incorporar categorías emergentes vinculadas con transporte, mantenimiento, aceptación institucional, capacidades productivas y riesgos de implementación. La combinación de ambas lógicas evitó imponer una clasificación completamente cerrada y, al mismo tiempo, mantuvo correspondencia con los objetivos del estudio. El análisis se orientó desde conceptos generales de sostenibilidad hacia aplicaciones concretas y, posteriormente, desde los hallazgos particulares hacia patrones interpretativos más amplios. Este procedimiento siguió recomendaciones de síntesis de evidencia y codificación cualitativa que promovieron coherencia entre preguntas, fuentes y categorías analíticas (Aromataris et al., 2024; Saldaña, 2021).

La descripción sistemática del fenómeno delimitó como unidad de análisis cada documento que examinó materiales sostenibles empleados o potencialmente utilizables en vías, pavimentos, aceras, puentes, drenajes, espacios públicos y equipamientos urbanos. Se describieron las características de los materiales, sus aplicaciones, las condiciones territoriales estudiadas y los indicadores mediante los cuales se justificó su sostenibilidad. No se estimaron relaciones causales ni se pretendió generalizar los resultados a todos los proyectos de infraestructura de Ecuador o Latinoamérica. La población documental se asumió como el conjunto potencial de publicaciones y documentos técnicos disponibles durante el periodo delimitado y relacionados directamente con el objeto de estudio. Debido a la naturaleza cualitativa y documental de la investigación, no se calculó una muestra probabilística ni se aplicaron fórmulas de inferencia estadística. La selección se rigió por pertinencia temática, calidad metodológica, disponibilidad del texto completo y capacidad de cada fuente para responder a las categorías descriptivas establecidas (Creswell & Creswell, 2023; Aromataris et al., 2024).

La búsqueda documental se ejecutó en Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO y Redalyc, y se complementó con repositorios oficiales de organismos internacionales e instituciones públicas de Ecuador y otros países latinoamericanos. Se emplearon los descriptores “materiales sostenibles”, “infraestructura urbana”, “construcción sostenible”, “agregados reciclados”, “cemento de bajo carbono”, “economía circular” y “análisis de ciclo de vida”, junto con sus equivalentes en inglés. Los términos se combinaron mediante los operadores booleanos AND y OR, adaptando las cadenas de búsqueda a los campos de título, resumen y palabras clave de cada base. Para cada registro se documentaron la base consultada, la fecha de búsqueda, la combinación utilizada, el año de publicación y la decisión de elegibilidad. La identificación, depuración, revisión de títulos, lectura de resúmenes y evaluación del texto completo se organizaron de manera secuencial. Esta trazabilidad tomó como referencia PRISMA 2020 y las orientaciones de JBI, sin convertir el estudio en un metaanálisis ni combinar cuantitativamente resultados heterogéneos (Page et al., 2021; Aromataris et al., 2024).

Los documentos incluidos debieron publicarse o actualizarse entre 2020 y 2025, estar disponibles en español, inglés o portugués y abordar infraestructura urbana, construcción sostenible o materiales con potencial de aplicación en Ecuador y Latinoamérica. También debieron presentar información verificable sobre al menos una dimensión ambiental, técnica, económica o social. Se consideraron estudios sobre cementos con menor contenido de clínker, concreto con adiciones minerales, agregados reciclados, asfalto recuperado, acero reciclado, madera, bambú y componentes reutilizados. Se excluyeron duplicados, textos sin acceso completo, publicaciones de

opinión, documentos sin procedimiento metodológico identificable y estudios centrados exclusivamente en aplicaciones ajenas a la infraestructura urbana. Cuando distintas publicaciones analizaron un mismo caso, se conservó la versión que ofreció mayor detalle metodológico y documental. Estos criterios respondieron a la necesidad de comparar materiales mediante unidades, límites de sistema, calidad, transporte, resistencia y vida útil claramente reportados (Bayram & Greiff, 2023; Xing et al., 2023; Hasheminezhad et al., 2024).

La información seleccionada se extrajo mediante una matriz estructurada que incorporó autoría, año, país, tipo de documento, material, aplicación urbana, procedencia de materias primas y etapa del ciclo de vida estudiada. También se registraron indicadores expresados en kg de CO₂ equivalente, consumo energético, porcentaje de sustitución, resistencia en MPa, vida útil en años, costo por unidad funcional y beneficios sociales reportados. La codificación se realizó en dos ciclos: el primero asignó códigos descriptivos a las características explícitas de cada fuente y el segundo agrupó relaciones, semejanzas y diferencias entre documentos. Posteriormente, los códigos se integraron en temas relacionados con desempeño ambiental, viabilidad técnica, competitividad económica, circularidad, barreras institucionales y adaptación territorial. La comparación temporal examinó la presencia, ausencia o modificación de dichas categorías en los tres bloques bienales definidos. El proceso analítico mantuvo una correspondencia verificable entre fragmentos documentales, códigos, temas e interpretación final (Braun & Clarke, 2021; Saldaña, 2021).

El rigor del procedimiento se reforzó mediante la revisión de la coherencia entre objetivos, estrategias de búsqueda, criterios de inclusión, categorías y síntesis interpretativa. La calidad de cada fuente se examinó considerando claridad del propósito, descripción del método, procedencia de los datos, definición de unidades funcionales, delimitación del sistema y reconocimiento de incertidumbres. Asimismo, se trianguló la información procedente de artículos revisados por pares, informes institucionales y documentos técnicos, sin forzar la concordancia cuando se identificaron resultados contradictorios. Las discrepancias se documentaron según material, ubicación, distancia de transporte, matriz energética, desempeño mecánico y horizonte de vida útil. El estudio no requirió intervención sobre personas, experimentación física ni tratamiento de datos personales, porque utilizó exclusivamente información documental disponible públicamente. Aun así, se respetaron la propiedad intelectual, la fidelidad de las citas, la trazabilidad de las decisiones y la presentación transparente de limitaciones metodológicas (Aromataris et al., 2024; Page et al., 2021; Bayram & Greiff, 2023).

3. Resultados

Caracterización ambiental, técnica, económica y social de los materiales sostenibles

La caracterización se organizó en cuatro conjuntos de evidencia: concretos con agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios, reciclaje de residuos de construcción y demolición, sistemas estructurales de bambú y concreto reforzado con fibras de carbono. El propósito consistió en identificar los indicadores empleados

para describir el desempeño ambiental, técnico, económico y social de estas alternativas en aplicaciones constructivas. La base cuantitativa comprendió 570 dosificaciones experimentales de concreto, 76 evaluaciones de ciclo de vida sobre residuos de construcción y demolición, un sistema de muro compuesto de bambú y un catálogo de 36 indicadores sociales. Los estudios se concentraron principalmente en emisiones, consumo energético, resistencia a compresión, calidad del material reciclado y riesgos laborales. En contraste, los costos monetarios, la vida útil y el mantenimiento no se expresaron mediante unidades homogéneas en el conjunto documental. La información disponible permitió caracterizar tendencias y proporciones, pero no conformó una base uniforme para realizar inferencias estadísticas agrupadas (Bayram & Greiff, 2023; Backes & Traverso, 2024; Xing et al., 2023; Young et al., 2024).

La dimensión ambiental y técnica presentó la mayor disponibilidad de información cuantitativa. El análisis de concreto sostenible reunió 570 mezclas que incorporaron agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios, cuyas evaluaciones relacionaron las composiciones con la resistencia a los 28 días y los impactos del ciclo de vida (Xing et al., 2023). Por su parte, el sistema compuesto de muro de bambú desarrollado para El Salvador registró un potencial de calentamiento global equivalente al 64% del correspondiente a la alternativa de mampostería reforzada. Cuando se incorporó el almacenamiento de carbono biogénico, dicho indicador descendió al 53% del valor de referencia, lo que representó diferencias descriptivas de 36 y 47 puntos porcentuales, respectivamente. Estos valores no correspondieron a reducciones medias de una muestra, sino a resultados comparativos del sistema estructural evaluado. Los principales indicadores recuperados para cada conjunto de evidencia se sintetizaron como se observa en la Tabla 1 (Xing et al., 2023; Young et al., 2024).

Tabla 1
Caracterización cuantitativa de los materiales sostenibles examinados

Material o conjunto documental	Base analizada	Indicadores ambientales y técnicos	Indicadores económicos y sociales
Concreto con agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios	570 dosificaciones	Composición de la mezcla, resistencia a los 28 días, consumo energético e impactos de ciclo de vida	Se señalaron posibilidades de ahorro, pero no se presentaron costos en USD homologables
Reciclaje de residuos de construcción y demolición	76 artículos	50% no informó la composición del residuo; 16% presentó una composición detallada; 18% no indicó la base de datos y 32% no especificó el software de ACV	13 estudios —17,1%— informaron materiales evitados y coeficientes de sustitución
Sistema compuesto de 1 muro de bambú	1 sistema comparado	El potencial de calentamiento global representó 64% del valor de la mampostería reforzada y 53% al considerar el carbono biogénico	No se informaron valores económicos comparables ni indicadores sociales cuantificados
Concreto reforzado con fibras de carbono	36 indicadores sociales	La evaluación ambiental y técnica no constituyó el resultado cuantitativo central del estudio	Los indicadores se concentraron en derechos laborales, trabajo decente, salud y seguridad ocupacional

Nota. ACV = análisis de ciclo de vida. Los porcentajes de 17,1% se calcularon a partir de 13 de los 76 artículos revisados. Las cifras reprodujeron los resultados informados por Bayram y Greiff (2023), Backes y Traverso (2024), Xing et al. (2023) y Young et al. (2024); no representaron una estimación agregada de efecto

La evidencia sobre circularidad mostró diferencias sustanciales en el nivel de detalle con que se caracterizaron los materiales reciclados. De los 76 artículos examinados sobre residuos de construcción y demolición, el 50% omitió la composición del residuo de entrada y solamente el 16% presentó una distribución porcentual detallada de sus componentes. Asimismo, el 18% no identificó la base de datos utilizada en el análisis de ciclo de vida y el 32% no informó el software empleado. Únicamente 13 documentos, equivalentes al 17,1%, registraron los materiales evitados y sus coeficientes de sustitución, mientras que 12 estudios (15,8%) incorporaron la calidad del material reciclado en la evaluación. Otros seis artículos (7,9%) utilizaron la categoría genérica “material virgen” sin especificar el producto sustituido. Por consiguiente, los registros más frecuentes correspondieron a indicadores ambientales generales, mientras que las propiedades funcionales del agregado y la equivalencia de sustitución aparecieron con menor frecuencia (Bayram & Greiff, 2023).

La dimensión social quedó representada por 36 indicadores vinculados con el ciclo de vida del concreto reforzado con fibras de carbono. La concentración principal se registró en derechos laborales y trabajo decente, particularmente en las categorías de salud y seguridad ocupacional, exposición a sustancias peligrosas, enfermedades laborales, lesiones y mortalidad asociada al trabajo. En cambio, la dimensión económica no produjo costos medios, desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores financieros comparables entre materiales, debido a que las fuentes emplearon límites del sistema y unidades funcionales diferentes. Tampoco se calcularon valores p , intervalos de confianza o tamaños del efecto, puesto que los documentos no constituyeron observaciones homogéneas de una misma población estadística. En conjunto, la caracterización mostró una cobertura cuantitativa elevada en impactos ambientales y desempeño técnico, una incorporación limitada de variables económicas comparables y una representación social basada predominantemente en catálogos de riesgos e indicadores laborales. El hallazgo central fue la distribución desigual de la evidencia entre las cuatro dimensiones de sostenibilidad, con predominio de métricas ambientales frente a los registros económicos y sociales (Backes & Traverso, 2024; Bayram & Greiff, 2023).

Relaciones entre contenido reciclado, emisiones, resistencia, vida útil y costo

El análisis tuvo como propósito describir las relaciones documentadas entre la proporción de materiales reciclados, el desempeño mecánico, las emisiones de carbono, la vida útil y el costo. La evidencia comprendió cuatro conjuntos independientes: 570 dosificaciones de concreto con agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios, 57 productos de concreto convencional, reciclado y carbonatado, 590 mezclas procedentes de 42 estudios y 76 evaluaciones de ciclo de vida sobre residuos de construcción y demolición. Estos conjuntos no se sumaron, debido a la posible coincidencia de estudios primarios y a sus diferentes unidades funcionales. Las variables más reportadas fueron la resistencia a compresión a los 28 días, la relación efectiva agua-aglomerante, el porcentaje de agregado reciclado, la sustitución de cemento y el potencial de calentamiento global. En cambio, la vida útil en años y los costos expresados en USD por unidad funcional se registraron de manera insuficiente. Por esta razón, los resultados se presentaron como relaciones descriptivas y casos comparables, sin calcular un efecto agregado entre todos los documentos (Bayram & Greiff, 2023; Bennett et al., 2022; Xing et al., 2022, 2023).

Las 570 dosificaciones mostraron que las emisiones de carbono y el consumo energético variaron conjuntamente con la resistencia a compresión, la relación efectiva agua-aglomerante y las proporciones de agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios. Sin embargo, el estudio no informó un único coeficiente de correlación aplicable a todas las mezclas, porque los materiales y niveles de sustitución fueron heterogéneos. En los 57 productos comparados, el potencial de calentamiento global fluctuó entre 278,35 y 524,44 kg de CO₂ equivalente por m³, lo que representó una amplitud de 246,09 kg de CO₂ equivalente por m³. El cemento registró la mayor contribución ambiental, mientras el contenido y tipo de agregado ejercieron una influencia menor cuando se evaluaron por unidad de volumen. En el conjunto de 590 mezclas, el agregado reciclado presentó su mayor ventaja ambiental en concretos de menor resistencia que conservaron prestaciones mecánicas equivalentes a las mezclas de control. Los valores principales y las relaciones identificadas se organizaron como se observa en la Tabla 2 (Bennett et al., 2022; Xing et al., 2022, 2023).

Tabla 2

Relaciones documentadas entre composición reciclada, resistencia, emisiones, vida útil y costo

Conjunto analizado	Contenido sustitución	reciclado o	Resistencia y vida útil	Emisiones y costo
570 dosificaciones de concreto	Agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios en proporciones variables	y	La resistencia a los 28 días y la relación efectiva agua-aglomerante se asociaron con el desempeño ambiental; no se presentó una vida útil agrupada	Las emisiones y el consumo energético variaron con las proporciones de agregado reciclado y sustitución de cemento; no se informaron costos monetarios homogéneos
57 productos de concreto	Concreto con agregado natural, reciclado y agregado tratado con CO ₂	y	La unidad funcional basada en resistencia modificó la interpretación global de la unidad 524,44 kg CO ₂ eq/m ³ ; no se presentó un costo medio comunicó un valor común comparable de vida útil	El potencial de calentamiento global varió entre 278,35 y 524,44 kg CO ₂ eq/m ³ ; no se presentó un costo medio comunicó un valor común comparable de vida útil
590 mezclas procedentes de 42 estudios	Agregados combinados con materiales cementantes suplementarios	reciclados con distintos	La equivalencia mecánica se obtuvo con mayor frecuencia en concretos de menor resistencia; no se informó una media de vida útil	La ventaja ambiental del agregado reciclado fue mayor cuando se redujo el contenido de cemento mediante materiales suplementarios
Concreto con escoria de hierro y agregado reciclado	Escoria de hierro entre 10% y 30% y agregado reciclado entre 0% y 50%; combinación optimizada: 24,8% y 26,9% respectivamente	y	La mezcla optimizada alcanzó 30,12 MPa a los 28 días, frente a un valor previsto de 29,28 MPa	Registró 12,28% menos emisiones de CO ₂ y 22% menos ecocosto que la mezcla de alto contenido de cemento
76 estudios sobre reciclaje de residuos de construcción y demolición	13 estudios informaron de material evitado y de coeficiente de sustitución; y 12 incorporaron la calidad del material reciclado	y	La resistencia, la serviciabilidad y la durabilidad se incluyeron de forma limitada; no se obtuvo una vida útil promedio	No se identificaron costos monetarios comparables para el conjunto documental

Nota. CO₂ eq = dióxido de carbono equivalente. El ecocosto representó un indicador monetizado de carga ambiental y no un precio directo de mercado. Los porcentajes correspondientes a 13 de 76 y 12 de 76 estudios equivalieron al 17,1% y 15,8%, respectivamente. La tabla presentó conjuntos independientes y no una muestra acumulativa (Bayram & Greiff, 2023; Bennett et al., 2022; Sharma & Singh, 2023; Xing et al., 2022, 2023).

La evaluación de una mezcla que incorporó escoria de hierro y agregado de concreto reciclado aportó la relación cuantitativa más completa entre sustitución, resistencia, emisiones y ecocosto. Los niveles experimentales abarcaron entre 10% y 30% de escoria y entre 0% y 50% de agregado reciclado, mientras la optimización estableció proporciones de 24,8% y 26,9%, respectivamente. Con esta composición se alcanzó una resistencia a compresión de 30,12 MPa a los 28 días, superior en 0,84 MPa al valor predicho de 29,28 MPa. Frente al concreto con alto contenido de cemento, la mezcla optimizada registró una disminución del 12,28% en emisiones de CO₂ y del 22% en ecocosto. Cuando se comparó con la mezcla de bajo contenido de cemento, las reducciones se limitaron al 0,45% en CO₂ equivalente y al 0,60% en ecocosto. Los resultados no incluyeron precios directos en USD por m³, por lo que el porcentaje de ecocosto no se interpretó como una reducción equivalente del presupuesto de construcción (Sharma & Singh, 2023).

La vida útil constituyó la variable menos integrada en las comparaciones, debido a que los documentos emplearon indicadores de durabilidad, resistencia y serviciabilidad sin convertirlos de manera uniforme en años de servicio. De los 76 estudios revisados sobre residuos de construcción y demolición, solamente 12 (15,8%) incorporaron explícitamente la calidad del material reciclado y 13 (17,1%) identificaron el material evitado junto con su coeficiente de sustitución. Un caso incluido en esa revisión comparó unidades funcionales basadas en volumen y resistencia con otra que añadió serviciabilidad y durabilidad, sin registrar una variación sustancial del resultado ambiental, aunque no comunicó un promedio de años. Tampoco se dispuso de medias, desviaciones estándar, intervalos de confianza o valores *p* comunes para relacionar contenido reciclado con vida útil y costo. En términos descriptivos, la reducción de emisiones se vinculó más consistentemente con la disminución del cemento y la incorporación de materiales cementantes suplementarios que con el incremento aislado del agregado reciclado. El hallazgo central mostró que la combinación de sustitución parcial, resistencia funcionalmente equivalente y menor contenido de cemento produjo los resultados ambientales más favorables, mientras la información sobre vida útil y costo monetario permaneció incompleta (Bayram & Greiff, 2023; Bennett et al., 2022; Xing et al., 2023).

Desempeño comparativo y condiciones para la adopción en infraestructura urbana

El análisis tuvo como propósito describir el desempeño relativo de los materiales sostenibles frente a soluciones convencionales y ordenar las condiciones que incidieron en su adopción en infraestructura urbana. La base comparativa quedó integrada por 57 productos de concreto, un sistema estructural de bambú, 76 estudios de análisis de ciclo de vida y una consulta Fuzzy Delphi con 18 especialistas del sector. Estos conjuntos se examinaron de manera independiente, debido a que emplearon unidades funcionales, aplicaciones y límites de sistema diferentes. Los indicadores más frecuentes fueron el potencial de calentamiento global, la resistencia mecánica, la calidad del material recuperado, el contenido de cemento y la viabilidad de los procesos de reciclaje. Los factores institucionales se agruparon en componentes regulatorios, económicos, técnicos, organizacionales y logísticos. La heterogeneidad documental impidió obtener una media general de desempeño aplicable a todos los materiales evaluados (Xing et al., 2022; Martin et al., 2024).

En la comparación de los 57 productos de concreto, el potencial de calentamiento global se situó entre 278,35 y 524,44 kg de CO₂ equivalente por m³. La amplitud del intervalo alcanzó 246,09 kg de CO₂ equivalente por m³, equivalente al 88,41% respecto del valor mínimo registrado. El cemento representó la contribución ambiental dominante, mientras que el tipo y la proporción de agregado produjeron variaciones menores cuando los resultados se expresaron por unidad de volumen. El concreto con agregados reciclados alcanzó un desempeño más favorable cuando incorporó materiales cementantes suplementarios y tratamiento de carbonatación, sin que esta ventaja apareciera con igual magnitud en todas las mezclas. La clasificación de las alternativas también cambió al sustituir la unidad volumétrica por una unidad funcional basada en resistencia. No se calcularon medias, desviaciones estándar ni valores *p*, porque el estudio publicado no presentó los 57 resultados individuales en un formato susceptible de agregación secundaria (Xing et al., 2022).

El sistema compuesto de muro de bambú presentó un potencial de calentamiento global equivalente al 64% del registrado para la vivienda de mampostería reforzada utilizada como referencia. La diferencia descriptiva entre ambas alternativas fue de 36 puntos porcentuales cuando no se contabilizó el carbono biogénico. Al incorporar este almacenamiento, el indicador del sistema de bambú descendió al 53% del valor convencional, con una diferencia de 47 puntos porcentuales. El resultado se vinculó con una solución estructural desarrollada para las condiciones constructivas de El Salvador y no representó una media latinoamericana. La fuente no comunicó precios homogéneos en USD, intervalos de confianza o costos de mantenimiento que permitieran contrastar su competitividad financiera durante la vida útil. En consecuencia, el desempeño comparativo quedó cuantificado principalmente mediante el indicador climático del sistema constructivo completo (Young et al., 2024).

Las condiciones de adopción se ordenaron mediante las respuestas de 18 profesionales con experiencias laborales comprendidas entre 1 y 34 años, evaluadas con una escala de siete puntos y un umbral de consenso del 70%. La ineficiencia de las políticas para obtener materiales reciclados de alta calidad ocupó el primer lugar, con una puntuación grupal de 0,276, seguida por la dificultad para controlar la calidad durante el ciclo de vida, con 0,252. La ausencia de diseño verde y el incremento de los costos de producción registraron una puntuación idéntica de 0,237 y ocuparon las posiciones tercera y cuarta, respectivamente. La aversión al riesgo de los responsables de gestión alcanzó 0,226, mientras que las limitaciones regulatorias se situaron en el octavo puesto con 0,216. Los costos iniciales de la cadena de suministro, el mayor precio de los materiales reciclados y las deficiencias en desmontaje, clasificación y transporte se ubicaron entre las posiciones 17 y 19. El análisis identificó además 25 indicadores operativos, entre ellos emisiones incorporadas, tasas de reciclaje, reutilización y desvío de vertederos (Martin et al., 2024).

La trazabilidad y la comparabilidad representaron condiciones adicionales para incorporar los materiales en decisiones de diseño y contratación. Entre los 76 estudios de reciclaje de residuos de construcción y demolición, solamente 13 (17,1%) informaron el material evitado y su coeficiente de sustitución, mientras que 12 (15,8%) incorporaron explícitamente la calidad del producto reciclado. Asimismo, el 18% no identificó la base de datos del análisis de ciclo de vida y el 32% omitió el software utilizado, lo que redujo la homogeneidad de las evaluaciones. Las fuentes tampoco aportaron costos unitarios,

años de servicio, desviaciones estándar o intervalos de confianza comparables para Ecuador y Latinoamérica. En síntesis, los materiales sostenibles mostraron ventajas ambientales bajo combinaciones específicas de resistencia, menor contenido de cemento, tratamiento y abastecimiento, mientras su adopción quedó asociada con control de calidad, información verificable, regulación, costos y capacidad operativa. El hallazgo central fue que el desempeño favorable del material no aseguró por sí solo su incorporación en infraestructura urbana cuando persistieron diferencias metodológicas e institucionales (Bayram & Greiff, 2023; Martin et al., 2024).

4. Discusión

El análisis de la sostenibilidad de los materiales aplicables a la infraestructura urbana muestra que el desempeño favorable no constituye una propiedad intrínseca del material, sino el resultado de su composición, función, procedencia y contexto de uso. Las 570 dosificaciones examinadas sugieren que la reducción del contenido de cemento y la incorporación de materiales cementantes suplementarios influyen de manera más consistente en las emisiones que el aumento aislado del agregado reciclado. La variación entre 278,35 y 524,44 kg de CO₂ equivalente por m³ confirma, además, que una misma categoría de concreto puede presentar impactos ambientales ampliamente diferentes según la dosificación y la unidad funcional empleada. El sistema de bambú, cuyo potencial de calentamiento global representa entre el 53% y el 64% del correspondiente a la mampostería reforzada, refuerza la posibilidad de obtener ventajas climáticas mediante soluciones biobasadas, aunque este resultado depende del reconocimiento del carbono biogénico y de las condiciones constructivas evaluadas. Los hallazgos sugieren, por tanto, que la selección sostenible exige contrastar emisiones, resistencia, durabilidad, mantenimiento y disponibilidad territorial mediante prestaciones equivalentes, sin asumir que la presencia de contenido reciclado garantiza por sí sola un mejor desempeño (Xing et al., 2022, 2023; Young et al., 2024).

Los patrones identificados convergen con Hasheminezhad et al. (2024), quienes señalan que el contenido de cemento, la calidad del agregado, la distancia de transporte y la durabilidad modifican el balance entre concreto natural y reciclado. Esta coincidencia también se observa en la mezcla optimizada con 24,8% de escoria y 26,9% de agregado reciclado, que alcanza 30,12 MPa y reduce un 12,28% las emisiones y un 22% el ecocosto frente a una formulación con alto contenido de cemento; sin embargo, las diferencias disminuyen a 0,45% y 0,60% cuando la referencia contiene menos cemento. Este contraste parece indicar que la magnitud del beneficio depende tanto de la alternativa sostenible como del material convencional utilizado como línea base, por lo que las reducciones porcentuales deben interpretarse con cautela. Las divergencias entre estudios podrían explicarse por variaciones en los límites del sistema, las matrices energéticas, los tratamientos de carbonatación, las unidades funcionales y la inclusión o exclusión de la vida útil. La escasa declaración del software, las bases de datos y los coeficientes de sustitución confirma que parte de la inconsistencia procede de diferencias metodológicas y no necesariamente del comportamiento físico de los materiales (Bayram & Greiff, 2023; Bennett et al., 2022; Sharma & Singh, 2023).

La integración de las dimensiones ambiental, técnica, económica y social amplía el concepto de sostenibilidad más allá de la huella de carbono y aporta criterios aplicables

al diseño, la contratación y la gestión pública. Los 36 indicadores sociales identificados evidencian que la seguridad ocupacional, la exposición a sustancias peligrosas y el trabajo decente forman parte del desempeño material, aunque estas categorías reciben menor atención cuantitativa que las emisiones y la resistencia. En el plano operativo, la consulta a 18 especialistas sitúa la ineficiencia de las políticas para obtener materiales reciclados de calidad y el control durante el ciclo de vida por encima de varias restricciones logísticas, lo que sugiere que la adopción depende de capacidades institucionales además de la disponibilidad tecnológica. Esta interpretación adquiere especial relevancia en Ecuador, donde se gestionan 14.394 toneladas diarias de residuos sólidos, el 83,4% se recolecta sin diferenciación y el servicio requiere USD 27 millones junto con un subsidio municipal del 47,3%, aunque estas cifras no representan exclusivamente residuos de construcción y demolición. En términos metodológicos, los resultados respaldan el uso de unidades funcionales que incorporen resistencia, durabilidad y servicio, mientras que en la práctica respaldan especificaciones de compra basadas en calidad, trazabilidad y desempeño durante el ciclo de vida, y no solo en porcentajes de material reciclado (Backes & Traverso, 2024; INEC, 2023; Martin et al., 2024).

Las interpretaciones presentadas se encuentran limitadas por el carácter cualitativo, documental, no experimental y longitudinal retrospectivo del estudio, así como por la heterogeneidad de las aplicaciones, regiones y límites de evaluación. La ausencia de costos homogéneos en USD, años comparables de vida útil, desviaciones estándar, intervalos de confianza y valores p impide estimar efectos agrupados o establecer relaciones causales entre contenido reciclado, resistencia, emisiones y costo. Tampoco puede descartarse la coincidencia parcial de estudios primarios entre las bases de 570 y 590 mezclas, por lo que los conjuntos no representan una muestra acumulativa ni permiten generalizar los resultados a toda la infraestructura ecuatoriana. Las investigaciones futuras deberían desarrollar análisis de ciclo de vida y costo del ciclo de vida con inventarios nacionales, ensayos piloto en vías y equipamientos, y escenarios que integren sismicidad, clima, matriz energética, transporte, mantenimiento y fin de vida. También resulta necesario evaluar la aceptación institucional, las condiciones laborales y los mecanismos de contratación mediante indicadores comparables y protocolos transparentes. Pese a estas restricciones, el estudio aporta un marco integrado que conecta el desempeño material con las condiciones reales de adopción y responde a la brecha de comparabilidad ambiental, técnica, económica y social identificada para Ecuador y Latinoamérica (Aromataris et al., 2024; Bayram & Greiff, 2023; Hasheminezhad et al., 2024).

5. Conclusiones

Los resultados permiten concluir que la sostenibilidad de los materiales destinados a infraestructura urbana depende de la interacción entre composición, desempeño técnico, procedencia, transporte y condiciones territoriales de aplicación. Ninguna alternativa resulta sostenible únicamente por contener componentes reciclados o biobasados, pues su ventaja debe verificarse mediante unidades funcionales equivalentes que integren emisiones, resistencia, durabilidad, mantenimiento y fin de vida. La evidencia examinada muestra que la reducción del cemento y el uso combinado

de materiales cementantes suplementarios producen beneficios ambientales más consistentes que el incremento aislado de agregados reciclados. Asimismo, los sistemas de bambú presentan un potencial climático favorable cuando se consideran adecuadamente el almacenamiento de carbono y el contexto constructivo. Estos hallazgos deben interpretarse dentro del alcance documental del estudio y no como una generalización automática para todos los proyectos urbanos de Ecuador y Latinoamérica.

La integración de los objetivos específicos evidencia que las dimensiones ambiental y técnica concentran la mayor cantidad de información verificable, mientras los costos monetarios, la vida útil y los efectos sociales permanecen menos estandarizados. Las comparaciones disponibles muestran que el desempeño de los concretos reciclados cambia según la resistencia requerida, la relación agua-aglomerante, el contenido de cemento y la calidad del residuo utilizado. También se observa que las reducciones de emisiones y ecocosto alcanzan mayor magnitud cuando la referencia convencional posee un alto contenido de cemento, pero disminuyen frente a mezclas previamente optimizadas. Al mismo tiempo, la baja proporción de estudios que documentan la calidad del material reciclado, el producto sustituido y los coeficientes de sustitución limita la comparabilidad entre alternativas. En conjunto, los hallazgos evidencian que el contenido reciclado debe considerarse junto con el desempeño funcional y la trazabilidad metodológica, no como un indicador suficiente de sostenibilidad.

El aporte principal del estudio consiste en articular las dimensiones ambiental, técnica, económica y social dentro de un marco de análisis aplicable a decisiones de diseño, evaluación y contratación pública. Esta integración permite reconocer que la viabilidad de los materiales sostenibles no depende exclusivamente de sus propiedades físicas, sino también del control de calidad, la regulación, la disponibilidad regional y la capacidad operativa de las instituciones. Para el ámbito profesional, el marco propuesto favorece especificaciones basadas en resistencia, durabilidad, emisiones y desempeño durante el ciclo de vida. En el plano institucional, ofrece criterios para diferenciar soluciones técnicamente justificadas de propuestas sustentadas únicamente en etiquetas de construcción verde. En el contexto ecuatoriano, este aporte resulta pertinente ante la limitada separación de residuos, los costos de gestión municipal y la necesidad de mejorar la circularidad de los flujos materiales urbanos.

A partir de estos resultados, se recomienda desarrollar evaluaciones de ciclo de vida y costo del ciclo de vida con inventarios nacionales, unidades funcionales homogéneas y escenarios que incorporen transporte, clima, sismicidad, mantenimiento y fin de vida. También resulta conveniente ejecutar proyectos piloto en vías, aceras, drenajes y equipamientos urbanos para verificar el comportamiento de mezclas recicladas y materiales biobasados bajo condiciones ecuatorianas. Las futuras investigaciones deberían incluir precios en USD por unidad funcional, años de servicio, indicadores sociales comparables y análisis de sensibilidad que permitan estimar la estabilidad de las ventajas observadas. De igual manera, conviene examinar la aceptación institucional, las competencias técnicas y los mecanismos de contratación que condicionan la incorporación de estas alternativas.

Referencias Bibliográficas

- Aromataris, E., Lockwood, C., Porritt, K., Pilla, B., & Jordan, Z. (Eds.). (2024). *JBIM manual for evidence synthesis*. JBI. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-01>
- Backes, J. G., & Traverso, M. (2024). Social life cycle assessment in the construction industry: Systematic literature review and identification of relevant social indicators for carbon reinforced concrete. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 7199–7233. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03005-6>
- Banco Central del Ecuador. (2025a, 14 de octubre). *La economía ecuatoriana creció 4,3% en el segundo trimestre de 2025*. <https://www.bce.fin.ec/la-economia-ecuatoriana-crecio-43-en-el-segundo-trimestre-de-2025/>
- Barberán-Zambrano, G. S., & Guerrero-Calero, J. M. (2025). Análisis de susceptibilidad y vulnerabilidad a deslizamientos en la comunidad Naranjal de la parroquia Abdón Calderón, Portoviejo. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 118-134. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/111>
- 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>.
- Bayram, B., & Greiff, K. (2023). Life cycle assessment on construction and demolition waste recycling: A systematic review analyzing three important quality aspects. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28, 967–989. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02145-1>.
- Bennett, B., Visintin, P., & Xie, T. (2022). Global warming potential of recycled aggregate concrete with supplementary cementitious materials. *Journal of Building Engineering*, 52, 104394. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104394>.
- Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE. <https://www.sagepub.com/shop/buy-a-book/thematic-analysis-1-248481>
- Cabrera, J. D., & Velasco, P. (2022). Construction and demolition waste in Tungurahua: A case study from Ecuador. *Environmental Research and Technology*, 5(4), 315–324. <https://doi.org/10.35208/ert.1150943>.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6.^a ed.). SAGE. <https://edge.sagepub.com/creswellrd6e>
- Gaibor-Garófalo, A. M., & Paucar-Camacho, J. A. (2025). Estrategias para el fortalecimiento de la gestión de riesgos de desastres en el uso de suelo del área urbana de la parroquia Salinas, cantón Guaranda. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 71-86. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/117>
- Hasheminezhad, A., King, D., Ceylan, H., & Kim, S. (2024). Comparative life cycle assessment of natural and recycled aggregate concrete: A review. *Science of the Total Environment*, 950, 175310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175310>

- Hasheminezhad, A., King, D., Ceylan, H., & Kim, S. (2024). Comparative life cycle assessment of natural and recycled aggregate concrete: A review. *Science of the Total Environment*, 950, 175310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175310>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Gestión de residuos sólidos 2022: Resumen estadístico*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2022/Residuos_Solidos/Presentacion_GIRS_2022vFINAL.pdf
- Luna-Chalán, Ángel A., & Cuenca-Tamayo, L. D. (2026). Rediseño Hidráulico de una Alcantarilla que intercepta la vía Intervalles, en la parroquia El Tambo. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 357-370. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/156>
- Martin, H., Chebrolu, D., Chadee, A., & Brooks, T. (2024). Too good to waste: Examining circular economy opportunities, barriers, and indicators for sustainable construction and demolition waste management. *Sustainable Production and Consumption*, 48, 460–480. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.026>.
- Neale, B. (2021). *The craft of qualitative longitudinal research*. SAGE. <https://www.sagepub.com/shop/buy-a-book/the-craft-of-qualitative-longitudinal-research-1-254852>
- 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>
- Palacios-López, L. A., Pinargote-Bravo, V. J., Cárdenas-Lituma, M. G., & Solórzano-Cedeño, A. L. (2025). Análisis correlacional de vulnerabilidad ante deslizamientos en el barrio San José de Montecristi. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(2), 16-33. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v5/n2/186>
- Prieto-Benavides, O. O., Jiménez-Romero, E. M., Eguez-Enriquez, E. A., & Sánchez-Loor, N. C. (2026). Efectividad de las asociaciones micorrízicas arbusculares en la remoción vegetal de zinc en suelos contaminados del cantón Mocache, provincia de Los Ríos. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 122-139. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/136>
- Quintero-Angulo, B. M., Govea-Mina, L. D., & Quintero-Angulo, K. D. (2026). Desafíos de la reparación integral a comunidades afectadas por proyectos extractivos en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 267-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/164>
- Recycling*, 193, 106947. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106947>.
- Rivadeneira-Moreira, J. C. (2024). Implementación de gemelos digitales probabilísticos en el monitoreo de infraestructuras geotécnicas. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 27-40. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/29>

- Saldaña, J. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4.^a ed.). SAGE. <https://www.sagepub.com/shop/buy-a-book/the-coding-manual-for-qualitative-researchers-4-273583>
- Salvatierra-Moreira, C. O., Vinueza-Mendoza, G. W., Soria-Quisigüña, S., & Carrillo-Morales, C. A. (2026). Sistemas de drenaje urbano sostenible para mitigación de inundaciones. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 575-587. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/172>
- Sharma, R. D., & Singh, N. (2023). Evaluation of strength and absorption behaviour of iron slag and recycled aggregates concrete and its comparative environmental estimation by life cycle assessment. *Cleaner Materials*, 10, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100210>
- Suárez-Loor, C. P., & Suárez-Loor, B. E. (2026). Estrategias verdes azules mejoran confort peatonal y reducen demanda energética urbana. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 35-47. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/149>
- United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2026). *Global status report for buildings and construction 2025–2026*. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2025-2026>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2025). *World urbanization prospects 2025: Summary of results*. https://population.un.org/wup/assets/Publications/undesa_pd_2025_wup2025_summary_of_results_final.pdf
- Vélez-Guerrero, C. R., Quintero-Chere, F. E., Álvarez-Laborde, A. O., & Chévez-Franco, G. A. (2026). Efectos sobre la salud, bienestar y sostenibilidad del diseño biofílico en arquitectura. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 25-34. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/165>
- World Bank. (2025). *Urban population (% of total population)—Ecuador* [Conjunto de datos]. World Development Indicators. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=EC>
- Xing, W., Tam, V. W. Y., Le, K. N., Butera, A. W. Y., Hao, J. L., & Wang, J. (2022). Effects of mix design and functional unit on life cycle assessment of recycled aggregate concrete: Evidence from CO₂ concrete. *Construction and Building Materials*, 348, 128712. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128712>
- Young, L. M., Kaminski, S., Kovacs, M., & Zea Escamilla, E. (2024). A comparative life cycle assessment (LCA) of a composite bamboo shear wall system developed for El Salvador. *Sustainability*, 16(17), 7602. <https://doi.org/10.3390/su16177602>
- Zapata-Mendoza, P. C. O. (2025). Análisis de las tendencias contemporáneas de Infraestructura verde y planificación urbana sostenible. *Revista Científica Enfoques Del Conocimiento*, 2(1), 57-72. <https://doi.org/10.55813/gaea/revistacec/v2/n1/30>

CONFLICTO DE INTERESES

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