

DOI: <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v1/n2/12>

# Construcción modular y prefabricada en proyectos de ingeniería civil.

*Modular and prefabricated construction in civil engineering projects.*

Moran-González, Miguel Ramon <sup>1</sup>

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

**Cita:** Moran-González, M. R. (2024). Construcción modular y prefabricada en proyectos de ingeniería civil. *Revista De Investigación Y Liderazgo*, 1(2), 17-31. <https://doi.org/10.63618/omd/revinvlid/v1/n2/12>

## Resumen

La necesidad de mejorar la productividad, reducir desperdicios y disminuir los impactos ambientales de la construcción ha incrementado el interés por los sistemas modulares y prefabricados en Ecuador y Latinoamérica, aunque su adopción continúa limitada por restricciones económicas, regulatorias, logísticas y técnicas. El estudio tuvo como objetivo analizar la incidencia de estos sistemas en el desempeño de proyectos de ingeniería civil. Se desarrolló una investigación cualitativa, documental, no experimental, longitudinal y descriptiva, sustentada en el análisis temático de literatura científica e informes técnicos publicados entre 2020 y 2025. Los resultados mostraron una presencia regional de construcción industrializada del 20,5 %, junto con reducciones frecuentes en tiempos de ejecución, emisiones superiores al 30 % y disminuciones de residuos mayores al 80 % en determinados casos; sin embargo, los costos presentaron variaciones relevantes según la escala, el contexto y el grado de industrialización. La interpretación evidenció que la viabilidad dependió de la articulación entre financiamiento, regulación, planificación temprana, capacidades técnicas, logística y digitalización. Se concluyó que la construcción modular y prefabricada constituye una alternativa con potencial técnico y ambiental, cuya implementación requiere evaluaciones integrales adaptadas a las condiciones locales.

**Palabras clave:** construcción modular, prefabricación, ingeniería civil, construcción industrializada, sostenibilidad.

## Abstract

The need to improve productivity, reduce waste, and minimize the environmental impacts of construction has increased interest in modular and prefabricated systems in Ecuador and Latin America, although their adoption remains limited by economic, regulatory, logistical, and technical constraints. The objective of this study was to analyze the impact of these systems on the performance of civil engineering projects. A qualitative, documentary, non-experimental, longitudinal, and descriptive study was conducted, based on a thematic analysis of scientific literature and technical reports published between 2020 and 2025. The results showed a regional prevalence of industrialized construction of 20.5%, along with frequent reductions in construction time, emissions reduced by more than 30%, and waste reductions exceeding 80% in certain cases; however, costs varied significantly depending on scale, context, and the degree of industrialization. The analysis revealed that feasibility depended on the coordination of financing, regulation, early planning, technical capabilities, logistics, and digitalization. It was concluded that modular and prefabricated construction constitutes an alternative with technical and environmental potential, the implementation of which requires comprehensive assessments tailored to local conditions.

**Keywords:** modular construction, prefabrication, civil engineering, industrialized construction, sustainability.

## 1. Introducción

La transformación de los procesos constructivos adquiere especial relevancia en Ecuador y América Latina debido a la necesidad de mejorar la productividad, reducir desperdicios y responder con mayor eficiencia a la demanda de infraestructura y edificación. Durante 2024, Ecuador registra 21.718 permisos de construcción, 32.253 edificaciones proyectadas y 41.230 viviendas previstas; aunque los permisos disminuyen 5,0 % respecto de 2023, el número de edificaciones aumenta 4,4 %, lo que evidencia un escenario dinámico para incorporar sistemas industrializados (INEC, 2025). Dentro de este contexto, el análisis se delimita a proyectos de ingeniería civil del subsector edificaciones que utilizan o presentan condiciones para emplear componentes prefabricados, paneles y módulos tridimensionales, considerando la participación de proyectistas, constructores y responsables de gestión técnica. Esta delimitación responde al impulso regional hacia métodos capaces de reducir plazos, residuos e impactos ambientales mediante procesos de fabricación controlada (Baptista et al., 2024).

La relevancia de esta transición aumenta cuando se consideran las presiones ambientales y económicas asociadas con los métodos convencionales de construcción. El sector mundial de edificios y construcción consume aproximadamente 32 % de la energía global y genera cerca de 34 % de las emisiones de dióxido de carbono, mientras que la producción de cemento y acero representa alrededor de 18 % de las emisiones mundiales (PNUMA & GlobalABC, 2025). Frente a esta problemática, la construcción modular concentra entre 70 % y 95 % de sus procesos fuera del sitio y presenta reducciones potenciales de hasta 50 % en el tiempo de ejecución, 20 % en los costos y 83 % en los residuos de materiales, aunque estos valores dependen de la escala, la logística y el tipo de proyecto (Zohourian et al., 2025). La falta de evaluación local mantiene la exposición a sobrecostos, retrasos, reprocesos y mayores cargas ambientales.

El aprovechamiento efectivo de estos beneficios se encuentra condicionado por factores que trascienden la fabricación de componentes y abarcan la planificación temprana, la inversión inicial, el transporte especializado, la estandarización y el desempeño de las conexiones estructurales. Una revisión reciente identifica 75 barreras agrupadas en 7 categorías a partir de 46 estudios, y determina que los costos iniciales elevados y las dificultades de financiamiento constituyen los obstáculos económicos más recurrentes para la adopción de sistemas modulares (Khan et al., 2024). A ello se añaden las restricciones de diseño, las dimensiones de transporte, la disponibilidad de plantas productivas y la coordinación entre fabricación y montaje, debido a que la industrialización exige definir decisiones técnicas en fases tempranas (Zohourian et al., 2025). Cuando estas variables no se integran, las ventajas estimadas tienden a trasladarse hacia costos logísticos, incompatibilidades constructivas y riesgos de incumplimiento técnico.

La evidencia disponible también presenta una brecha geográfica y metodológica que limita la transferencia directa de resultados internacionales al contexto ecuatoriano. Entre 2005 y 2022, la producción científica latinoamericana sobre soluciones para construcción sostenible crece a una tasa promedio anual de 23 %, pero representa

apenas 3,6 % de la producción mundial; además, Ecuador registra únicamente 9 publicaciones relacionadas durante el periodo 2018–2022 (Baptista et al., 2024). La investigación internacional examina con mayor frecuencia los beneficios ambientales que la rentabilidad económica de largo plazo, por lo que persisten diferencias en los límites de evaluación, los indicadores de costos y los métodos comparativos empleados (Aghasizadeh et al., 2022). De manera semejante, la literatura sobre construcción modular reconoce una insuficiente integración entre desempeño económico, ambiental, social y tecnológico, especialmente en economías con capacidades productivas y marcos regulatorios emergentes (Nguyen et al., 2022).

La disponibilidad de registros nacionales y la concentración territorial de la actividad constructiva proporcionan condiciones razonables para examinar el fenómeno mediante información documental y evidencia obtenida de actores técnicos. En 2024, diez provincias concentran 80,9 % de los permisos de construcción del país, equivalentes a 17.580 autorizaciones, lo que facilita delimitar escenarios representativos sin asumir accesos institucionales previamente concedidos (INEC, 2025). Bajo esta base, el objetivo general consiste en analizar la incidencia de la construcción modular y prefabricada en el desempeño de proyectos de ingeniería civil del subsector edificaciones en Ecuador. Los objetivos específicos se orientan a describir el nivel de adopción y las barreras técnicas, económicas, logísticas y regulatorias; comparar indicadores de plazo, costo, calidad y generación de residuos entre sistemas industrializados y convencionales; y determinar la relación entre los factores de implementación y la viabilidad percibida por los actores técnicos. El análisis considera información agregada y opiniones tratadas de forma confidencial, sin intervenir sobre la ejecución de las obras (Yuan et al., 2024).

El estudio aporta una aproximación contextual que integra cuatro dimensiones de desempeño —tiempo, costo, calidad e impacto ambiental— con tres niveles de análisis vinculados con las condiciones técnicas, organizacionales y regulatorias de implementación. Esta perspectiva evita asumir que los porcentajes internacionales de ahorro se reproducen automáticamente en Ecuador y prioriza la identificación de relaciones verificables entre características del proyecto, capacidades productivas y resultados percibidos. La originalidad radica en conectar la limitada evidencia ecuatoriana con indicadores comparables y criterios de decisión aplicables a proyectos públicos y privados, incorporando además la gestión digital de información y la trazabilidad de componentes como elementos asociados con la circularidad y la reutilización (Iacovidou et al., 2021). De este modo, la investigación fortalece una brecha regional en la que la evaluación económica permanece menos consolidada que la ambiental y contribuye a establecer una base metodológica replicable en otros contextos latinoamericanos (Aghasizadeh et al., 2022; Nguyen et al., 2022).

## 2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló mediante una aproximación cualitativa orientada a interpretar cómo la literatura científica y técnica caracterizó la incorporación de sistemas modulares y prefabricados en proyectos de ingeniería civil de Ecuador y Latinoamérica.

La unidad de análisis estuvo constituida por documentos académicos, informes técnicos y publicaciones institucionales vinculados con el desempeño constructivo, la sostenibilidad, la productividad, los costos, la logística y las condiciones de implementación. Esta elección permitió examinar argumentos, tendencias, barreras y criterios de adopción sin reducir el fenómeno a relaciones exclusivamente numéricas. La comprensión contextual de los significados y patrones contenidos en fuentes documentales resultó coherente con los propósitos analíticos del estudio y con la naturaleza multidimensional de la construcción industrializada. Por consiguiente, no se formularon hipótesis estadísticas ni se buscó estimar parámetros poblacionales, debido a que el interés se concentró en la interpretación sistemática del conocimiento disponible (Creswell & Poth, 2024; Morgan, 2022).

La coherencia entre los objetivos y la naturaleza del fenómeno condujo a la adopción de un diseño no experimental, debido a que las variables relacionadas con la construcción modular y prefabricada no fueron manipuladas ni sometidas a condiciones controladas. El componente longitudinal se estableció mediante una revisión retrospectiva de publicaciones correspondientes al periodo 2020–2025, lo que permitió reconocer cambios progresivos en los enfoques técnicos, ambientales, económicos y digitales asociados con estos sistemas constructivos. La investigación mantuvo un carácter documental y aplicado, puesto que examinó conocimiento existente con la finalidad de generar criterios útiles para la planificación y gestión de proyectos de ingeniería civil. El razonamiento deductivo partió de categorías previamente identificadas en la literatura internacional, mientras que el procedimiento analítico permitió descomponer el fenómeno en dimensiones relacionadas con diseño, producción, transporte, montaje, costos, sostenibilidad y regulación. El alcance fue descriptivo, por lo que se caracterizaron tendencias y relaciones conceptuales sin atribuir causalidad directa ni generalizar los hallazgos a la totalidad del sector constructivo latinoamericano (Baptista et al., 2024; Zohourian et al., 2025).

La construcción del corpus documental se realizó mediante búsquedas estructuradas en Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO y Google Scholar, complementadas con repositorios oficiales de organismos vinculados con infraestructura, desarrollo urbano y construcción sostenible en Ecuador y América Latina. Se combinaron los descriptores “construcción modular”, “construcción prefabricada”, “ingeniería civil”, “industrialización de la construcción”, “modular construction”, “prefabricated construction”, “off-site construction” y “Latin America” mediante los operadores booleanos AND y OR. La estrategia consideró publicaciones difundidas entre enero de 2020 y diciembre de 2025, en español, inglés o portugués, con disponibilidad de texto completo. El proceso de identificación, depuración y selección se documentó mediante un registro de búsqueda que conservó la base consultada, el año, los términos empleados y la decisión adoptada para cada documento. Los criterios de trazabilidad de PRISMA 2020 se utilizaron como referencia para transparentar la selección, sin presentar el estudio como un metaanálisis ni como una evaluación cuantitativa de efectos (Page et al., 2021; Khan et al., 2024).

La depuración incorporó artículos científicos revisados por pares, revisiones especializadas, documentos técnicos y reportes institucionales que analizaron aplicaciones, beneficios, limitaciones o condiciones de adopción de sistemas modulares y prefabricados en proyectos de construcción. Se incluyeron fuentes que abordaron al

menos una dimensión técnica, económica, ambiental, logística, organizacional, normativa o tecnológica y que presentaron información verificable sobre el contexto estudiado. Se excluyeron documentos duplicados, resúmenes sin texto completo, materiales comerciales, publicaciones sin autoría identificable y estudios centrados en procesos industriales ajenos a la ingeniería civil. La población documental potencial permaneció abierta hasta concluir la búsqueda, debido a que no existió un marco finito y previamente cuantificable de publicaciones pertinentes. Por esta razón, no se aplicó una fórmula de cálculo muestral para poblaciones finitas; en su lugar, se utilizó una selección intencional basada en pertinencia temática, calidad de la fuente y suficiencia informativa, procedimiento compatible con la investigación documental cualitativa (Morgan, 2022; Creswell & Poth, 2024).

El tratamiento de la información se efectuó mediante una matriz de extracción que registró autor, año, país, tipo de sistema constructivo, metodología, ámbito de aplicación, beneficios reportados, barreras identificadas y principales conclusiones. El análisis temático se desarrolló mediante lectura completa, codificación inicial, agrupación de códigos, revisión de patrones, definición de categorías e interpretación integrada de los hallazgos. Las categorías deductivas comprendieron desempeño técnico, eficiencia económica, productividad, sostenibilidad ambiental, logística, digitalización, regulación y capacidades organizacionales; no obstante, se permitió la incorporación de subcategorías emergentes cuando el contenido documental evidenció relaciones no previstas. La comparación entre estudios facilitó identificar coincidencias, contradicciones y vacíos relacionados con la transferencia de resultados internacionales hacia Ecuador y otros contextos latinoamericanos. La interpretación mantuvo correspondencia entre cada categoría y los objetivos del estudio, evitando convertir la frecuencia de aparición de un tema en evidencia automática de relevancia o causalidad (Braun & Clarke, 2021; Byrne, 2022; Aghasizadeh et al., 2022; Nguyen et al., 2022).

La consistencia metodológica se fortaleció mediante la conservación de una ruta de auditoría que vinculó las decisiones de inclusión, los códigos asignados, las categorías finales y las interpretaciones derivadas de cada fuente. La credibilidad se apoyó en la contrastación de artículos científicos, documentos técnicos y publicaciones institucionales, mientras que la dependencia del análisis se atendió mediante criterios uniformes de búsqueda y extracción. También se revisaron resultados divergentes y evidencias que cuestionaron los beneficios atribuidos a la construcción modular, con el propósito de reducir interpretaciones selectivas. El estudio utilizó únicamente documentos publicados o de acceso institucional, por lo que no involucró intervención sobre personas, recopilación de datos personales ni modificación de condiciones constructivas. Las consideraciones éticas se concentraron en la atribución correcta de la autoría, el respeto de los derechos de propiedad intelectual, la fidelidad interpretativa y la presentación transparente de las limitaciones documentales (Morgan, 2022; Page et al., 2021).

### 3. Resultados

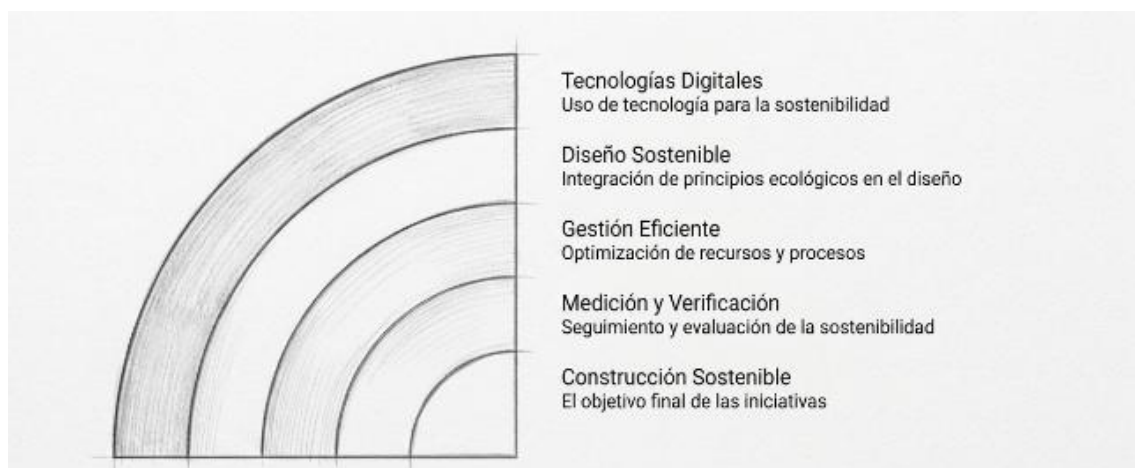
#### Nivel de adopción y barreras para la implementación de la construcción modular y prefabricada

El análisis documental tuvo como propósito caracterizar el nivel de incorporación de los sistemas modulares y prefabricados y ordenar las barreras asociadas con su implementación en proyectos de ingeniería civil. La evidencia regional examinada registró 44 iniciativas de construcción sostenible en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay, de las cuales 9 incorporaron sistemas de construcción industrializada, equivalentes al 20,5 % del conjunto analizado. Las iniciativas relacionadas con medición y verificación alcanzaron 24 registros (54,5 %), mientras que la gestión eficiente reunió 23 (52,3 %) y el diseño sostenible comprendió 20 (45,5 %). Las tecnologías digitales estuvieron presentes en 17 iniciativas (38,6 %), los materiales sostenibles en 13 (29,5 %) y las medidas de resiliencia en 10 (22,7 %). Debido a que las categorías no fueron excluyentes, los porcentajes expresaron presencia temática y no participaciones acumulables; aun así, la construcción industrializada presentó la menor frecuencia del conjunto regional analizado (Baptista et al., 2024).

La clasificación de las limitaciones identificó 75 barreras agrupadas en 7 categorías a partir de la revisión de 46 estudios especializados. Al sumar las frecuencias de citación registradas se obtuvieron 577 menciones acumuladas, de las cuales las barreras económicas concentraron 106 registros (18,4 %), seguidas por las administrativas y burocráticas con 100 (17,3 %) y las ambientales con 90 (15,6 %). Las limitaciones técnicas y constructivas reunieron 77 menciones (13,3 %), las regulatorias y normativas alcanzaron 72 (12,5 %), las vinculadas con la industria y el mercado registraron 71 (12,3 %) y las sociales y culturales agruparon 61 (10,6 %). El orden basado en el índice medio fue diferente: la dimensión económica ocupó la primera posición con 10,60, la regulatoria la segunda con 8,00 y la relacionada con la industria y el mercado la tercera con 7,89. Esta distribución mostró que la frecuencia acumulada y la media de citación generaron jerarquías distintas dentro del conjunto de barreras documentadas (Khan et al., 2024)

#### Figura 1

##### *Iniciativas de Construcción Sostenible*



*Nota:* Autores (2024)

El patrón representado evidenció que el mayor número de menciones no coincidió necesariamente con las primeras posiciones obtenidas mediante el índice medio. Aunque las restricciones administrativas reunieron la segunda frecuencia más alta, ocuparon el sexto lugar según su media de citación; en contraste, las barreras regulatorias alcanzaron el segundo puesto y las relacionadas con la industria y el mercado se situaron en el tercero. Entre los factores específicos más recurrentes se encontraron la elevada inversión inicial, las dificultades de financiamiento, la limitada disponibilidad de competencias técnicas, la fragmentación entre participantes y las restricciones de asequibilidad. También se registraron resistencia social, incertidumbre sobre la relación costo-beneficio, costos de cumplimiento, limitaciones de financiamiento institucional y ausencia de políticas específicas. La modelación jerárquica ubicó las restricciones económicas como factores de mayor capacidad impulsora, mientras que las dificultades técnicas y administrativas aparecieron con mayor dependencia respecto de las demás categorías (Khan et al., 2024).

La síntesis final caracterizó la adopción regional como limitada frente a otras soluciones de sostenibilidad y mostró que las restricciones se distribuyeron entre dimensiones financieras, institucionales, técnicas, logísticas y sociales. Este resultado mantuvo correspondencia con una revisión de 256 estudios elegibles, obtenidos después de depurar 400 registros, en la que los desafíos citados con mayor recurrencia fueron los elevados costos iniciales, la complejidad del transporte y la limitada flexibilidad del diseño. La evidencia disponible no permitió calcular una tasa específica de adopción para Ecuador, por lo que el valor regional se conservó como referencia documental y no como una estimación nacional. Tampoco se estimaron desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores  $p$ , debido a que las fuentes utilizaron diseños, unidades de análisis e indicadores heterogéneos. En consecuencia, la presentación se restringió a frecuencias, proporciones, índices medios y patrones categoriales sustentados por los documentos seleccionados (Baptista et al., 2024; Khan et al., 2024; Zohourian et al., 2025).

### **Desempeño comparativo de los sistemas modular, prefabricado y convencional**

El análisis comparativo se orientó a describir las variaciones registradas en tiempo de ejecución, costos directos, generación de residuos, emisiones de carbono, demanda energética y calidad constructiva. La síntesis de 90 estudios mostró que los sistemas industrializados presentaron reducciones de tiempo comprendidas entre 9 % y 50 %, aunque determinados proyectos registraron incrementos de hasta 32 %. En el componente económico se observaron disminuciones de costos entre 7 % y 50 %, junto con aumentos situados entre 26 % y 72 %, lo que evidenció una amplitud considerable entre los resultados documentados. La evidencia también registró reducciones de demanda energética de 20 % a 90 %, dependiendo de la solución constructiva y del contexto evaluado. Los principales indicadores comparativos se organizaron como se observa en la Tabla 1, sin calcular promedios globales debido a la heterogeneidad de las unidades de análisis y de los límites de evaluación empleados (Rojas-Herrera et al., 2025; Zohourian et al., 2025).

Los principales indicadores comparativos evidenciaron variaciones en la duración de las obras, los costos directos, la generación de residuos, las emisiones de carbono, la demanda energética y la presencia de retrabajos. Debido a la heterogeneidad de los

diseños, escalas, materiales y unidades de análisis, no se calcularon promedios globales ni medidas combinadas de efecto. Como se observa en la Tabla 1, los sistemas modular y prefabricado presentaron reducciones frecuentes en los indicadores temporales y ambientales, mientras que los resultados económicos mostraron una mayor variabilidad entre los casos analizados (Rojas-Herrera et al., 2025; Zohourian et al., 2025).

**Tabla 1**

*Desempeño documentado de los sistemas modular y prefabricado frente a la construcción convencional*

| Indicador                                          | Sistema modular o prefabricado                                                    | Sistema convencional referencia             | o Variación registrada                  |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Tiempo de ejecución                                | Reducciones entre 9 % y 50 %; algunos casos presentaron incrementos               | Valor base de cada estudio                  | -9 % a -50 %; hasta +32 %               |
| Costo de construcción                              | Reducciones entre 7 % y 50 %; algunos proyectos registraron aumentos              | Valor base de cada estudio                  | -7 % a -50 %; +26 % a +72 %             |
| Costo directo en vivienda modular de Corea del Sur | USD 982,57/m <sup>2</sup>                                                         | USD 908,97/m <sup>2</sup>                   | +8,1 %                                  |
| Residuos de materiales                             | Reducción de hasta 81,3 % en estructuras pequeñas y 83,2 % en estructuras grandes | Construcción tradicional                    | Hasta -83,2 %                           |
| Carbono incorporado en vivienda de Corea del Sur   | 279,51 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>                                         | 437,54 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>   | Aproximadamente -36 %                   |
| Emisiones en caso prefabricado Shenzhen            | de 269,16 kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>                                    | 393,63 kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> | -31,62 %                                |
| Demanda energética                                 | Reducciones entre 20 % y 90 %                                                     | Valor base de cada estudio                  | -20 % a -90 %                           |
| Retrabajos                                         | Tasa inferior a 1 %                                                               | No se informó un valor homogéneo            | Resultado exclusivo del sistema modular |

**Nota:** Los intervalos procedieron de revisiones documentales y no representaron efectos combinados. Los valores monetarios correspondieron al caso residencial evaluado en Corea del Sur y no fueron ajustados a precios de Ecuador. Las diferencias entre estudios respondieron a variaciones en escala, materiales, ubicación, grado de prefabricación y límites del análisis. Adaptado de Rojas-Herrera et al. (2025), Jang et al. (2022), Gao et al. (2024) y Zohourian et al. (2025).

La comparación económica mostró que las reducciones generales atribuidas a la industrialización no se reprodujeron de manera uniforme en todos los proyectos. En el caso residencial de Corea del Sur, el costo directo del sistema modular alcanzó USD 477.332, equivalente a USD 982,57/m<sup>2</sup>, mientras que la alternativa convencional de hormigón armado registró USD 441.580, correspondientes a USD 908,97/m<sup>2</sup>. La diferencia representó un incremento aproximado de 8,1 % para la alternativa modular durante la etapa evaluada. El mayor peso económico del sistema modular se concentró en los trabajos metálicos y de carpintería, mientras que en la solución convencional los rubros principales correspondieron al hormigón armado y a los elementos metálicos. Paralelamente, la revisión de 256 publicaciones registró el ahorro de 20 % como uno de los beneficios económicos más citados, con 156 menciones, aunque este valor no

constituyó una media estadística del conjunto documental (Jang et al., 2022; Zohourian et al., 2025).

Los resultados ambientales presentaron una tendencia más consistente hacia menores impactos en las soluciones industrializadas. La vivienda modular evaluada en Corea del Sur generó 135.787 kg de CO<sub>2</sub> durante la producción de materiales, equivalentes a 279,51 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, mientras que la alternativa convencional alcanzó 212.559 kg y 437,54 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>; la diferencia correspondió a una reducción aproximada de 36 %. En el estudio desarrollado en Shenzhen, la construcción prefabricada produjo 269,16 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> frente a 393,63 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> del sistema tradicional, lo que representó una disminución de 31,62 %. Dentro de este último caso, la producción de materiales concentró 96,11 % de las emisiones, el transporte representó 3,30 % y la fase constructiva reunió 0,59 %. La síntesis sobre construcción modular también registró reducciones de residuos de hasta 81,3 % en estructuras pequeñas y 83,2 % en estructuras de mayor escala, mientras que los retrabajos se mantuvieron por debajo de 1 % en los estudios que reportaron este indicador (Gao et al., 2024; Jang et al., 2022; Zohourian et al., 2025).

La integración de los indicadores mostró que el desempeño comparativo estuvo caracterizado por reducciones frecuentes en duración, residuos, emisiones y demanda energética, mientras que los resultados económicos presentaron mayor dispersión. Los intervalos de costos incluyeron tanto disminuciones de hasta 50 % como incrementos de hasta 72 %, y los tiempos variaron desde reducciones de 50 % hasta aumentos de 32 %, según las características de cada proyecto. En contraste, los casos ambientales cuantificados registraron disminuciones de carbono de 31,62 % y aproximadamente 36 %, junto con reducciones máximas de residuos superiores a 80 %. No se estimaron desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores *p*, debido a que los documentos utilizaron diseños, escalas, monedas y límites de evaluación diferentes. En consecuencia, el hallazgo central correspondió a un desempeño favorable de los sistemas modular y prefabricado en los indicadores de eficiencia temporal y ambiental, acompañado por resultados económicos variables y dependientes de las condiciones específicas de implementación (Rojas-Herrera et al., 2025; Aghasizadeh et al., 2022).

### **Relación entre los factores de implementación y la viabilidad de los sistemas industrializados**

El análisis examinó la relación entre las condiciones económicas, regulatorias, técnicas, logísticas y organizacionales y la viabilidad documentada de los sistemas modular y prefabricado. La síntesis de 46 estudios identificó 75 factores restrictivos distribuidos en 7 categorías, dentro de las cuales las barreras económicas alcanzaron 106 menciones y un índice medio de 10,60, correspondiente al primer lugar de jerarquía. Las limitaciones regulatorias acumularon 72 menciones y un índice de 8,00, mientras que las condiciones de industria y mercado registraron 71 menciones y un índice de 7,89. Estas dos últimas dimensiones ocuparon el segundo y tercer lugar, respectivamente. El patrón obtenido mostró que la viabilidad estuvo vinculada principalmente con la disponibilidad de capital inicial, el acceso al financiamiento, la estabilidad normativa y la capacidad de articulación del mercado (Khan et al., 2024).

La estructura de relaciones presentó cuatro niveles de influencia entre las categorías analizadas. Los factores económicos se ubicaron en el nivel superior y mostraron la mayor capacidad de incidencia sobre las demás condiciones de implementación, mientras que las dimensiones regulatorias y de mercado ocuparon un nivel intermedio con funciones de conexión. Las restricciones ambientales, sociales y culturales se situaron en el segundo nivel y mantuvieron relaciones recíprocas con las condiciones institucionales y sectoriales. Las barreras técnicas, constructivas, administrativas y burocráticas aparecieron en el nivel de mayor dependencia, debido a que su manifestación estuvo asociada con factores económicos y regulatorios previamente existentes. De esta manera, la viabilidad no se presentó como el resultado de una condición aislada, sino como una configuración jerárquica de factores interdependientes (Khan et al., 2024).

La revisión de 256 estudios confirmó que las condiciones logísticas y de planificación temprana mantuvieron una presencia elevada dentro de los factores asociados con la implementación. La complejidad del transporte apareció en 185 estudios, equivalente al 72,3 % del corpus; la limitada flexibilidad ocasionada por el cierre anticipado del diseño se registró en 165 publicaciones (64,5 %) y las dificultades de coordinación de la cadena de suministro en 158 (61,7 %). La disponibilidad restringida de espacios de almacenamiento alcanzó 147 menciones (57,4 %), mientras que la escasez de contratistas y diseñadores especializados se identificó en 132 estudios (51,6 %). Asimismo, las dificultades de compatibilidad normativa y automatización del cumplimiento se presentaron en 121 publicaciones (47,3 %), frente a 98 registros sobre costos iniciales de infraestructura productiva (38,3 %) y 76 sobre pérdida de economías de escala en proyectos pequeños (29,7 %) (Zohourian et al., 2025).

La relación entre restricciones y beneficios mostró que la viabilidad dependió del equilibrio entre las exigencias iniciales de implementación y los resultados potenciales del sistema constructivo. La reducción aproximada del tiempo de ejecución fue registrada en 193 estudios, equivalentes al 75,4 % de las publicaciones revisadas, mientras que el ahorro global de costos apareció en 156 documentos (60,9 %) y la disminución de residuos en 124 (48,4 %). No obstante, estos beneficios coexistieron con requerimientos de fabricación fuera del sitio, transporte especializado, coordinación anticipada y definición temprana del diseño. Los sistemas panelizados presentaron ahorros documentados de entre 17 % y 24 %, mientras que los sistemas volumétricos alcanzaron reducciones de costos cercanas al 24 % en determinados contextos. La relación observada indicó que los beneficios se asociaron con proyectos capaces de sostener repetitividad, planificación integrada y una escala suficiente para distribuir los costos iniciales (Zohourian et al., 2025).

El contexto latinoamericano reprodujo una asociación complementaria entre industrialización, gestión, digitalización y diseño sostenible. De las 44 iniciativas examinadas en Brasil, Chile, Costa Rica y Uruguay, 9 incorporaron sistemas de construcción industrializada; dentro de este grupo, 7 iniciativas también integraron criterios de diseño sostenible (78 %), 6 incluyeron enfoques de gestión eficiente (67 %), 6 incorporaron tecnologías digitales (67 %) y 6 emplearon materiales sostenibles (67 %). La medición y verificación ambiental estuvo presente en 5 iniciativas (56 %), mientras que la resiliencia apareció únicamente en 1 caso (11 %). En conjunto, el hallazgo central mostró que la viabilidad documentada aumentó cuando la construcción

industrializada se articuló con capacidades financieras, coordinación institucional, planificación logística, competencias técnicas y herramientas digitales. Debido al carácter cualitativo y documental de la evidencia, no se calcularon medias agregadas, desviaciones estándar, intervalos de confianza ni valores  $p$  (Baptista et al., 2024; Khan et al., 2024).

#### 4. Discusión

El estudio analiza la incidencia de la construcción modular y prefabricada en el desempeño de proyectos de ingeniería civil y muestra que su adopción regional permanece limitada, aun cuando la evidencia documenta ventajas relevantes en tiempo de ejecución, generación de residuos y desempeño ambiental. La presencia de sistemas industrializados en solo 20,5 % de las iniciativas examinadas sugiere que los beneficios técnicos no se traducen automáticamente en una incorporación amplia dentro del sector. Los hallazgos también indican que la viabilidad depende de una interacción entre financiamiento, regulación, capacidades productivas, logística y coordinación institucional, antes que de un único factor técnico. Esta interpretación resulta coherente con la identificación de las barreras económicas como la categoría de mayor jerarquía y con la posición intermedia de las restricciones regulatorias y de mercado. En consecuencia, la industrialización constructiva parece responder a una configuración sistémica en la que las ventajas operativas requieren condiciones habilitantes para materializarse (Baptista et al., 2024; Khan et al., 2024).

La comparación con investigaciones previas evidencia una convergencia clara respecto de los beneficios temporales y ambientales, aunque revela divergencias en el comportamiento económico. Las reducciones de emisiones cercanas a 31,62 % y 36 %, junto con disminuciones de residuos superiores a 80 % en determinados proyectos, respaldan la tendencia favorable señalada en estudios sobre prefabricación y construcción modular (Gao et al., 2024; Jang et al., 2022; Zohourian et al., 2025). Sin embargo, la amplitud observada en los costos —desde reducciones importantes hasta incrementos de 72 %— confirma que no existe una ventaja financiera uniforme y que los resultados dependen de la escala, el grado de repetitividad, la ubicación y la estructura de la cadena de suministro. El incremento aproximado de 8,1 % registrado para la alternativa modular en Corea del Sur refuerza esta lectura y coincide con la advertencia de que la evaluación económica permanece menos consolidada que la ambiental. Por tanto, los hallazgos sugieren que la rentabilidad debe interpretarse según el ciclo de vida y las condiciones particulares del proyecto, sin asumir que la industrialización reduce costos en todos los contextos (Aghasizadeh et al., 2022; Jang et al., 2022).

La relación identificada entre planificación temprana, digitalización, diseño sostenible y viabilidad amplía la comprensión de la construcción industrializada como un sistema de gestión integrado y no únicamente como una alternativa de fabricación fuera del sitio. La elevada recurrencia de problemas asociados con transporte, cierre anticipado del diseño y coordinación de la cadena de suministro indica que la eficiencia depende de decisiones adoptadas desde las fases iniciales del proyecto. Desde una perspectiva práctica, estos resultados respaldan la necesidad de fortalecer la estandarización, las competencias técnicas, la interoperabilidad digital y los mecanismos de coordinación

entre diseñadores, fabricantes, transportistas y constructores. En el contexto latinoamericano, la coincidencia entre industrialización, gestión eficiente y tecnologías digitales sugiere que la adopción podría favorecerse mediante estrategias combinadas, especialmente en mercados donde la capacidad productiva aún es limitada. Este aporte integra dimensiones económicas, ambientales, tecnológicas y organizacionales que con frecuencia se estudian por separado y refuerza la utilidad de la trazabilidad digital para mejorar la gestión y reutilización de componentes (Baptista et al., 2024; Iacovidou et al., 2021; Nguyen et al., 2022).

La interpretación de estos hallazgos debe realizarse con cautela debido al carácter cualitativo, documental y descriptivo del estudio, así como a la heterogeneidad de escalas, monedas, tipologías constructivas y límites de evaluación presentes en las fuentes revisadas. La ausencia de una tasa nacional de adopción para Ecuador y la imposibilidad de calcular medidas agregadas, intervalos de confianza o relaciones causales restringen la generalización de los resultados al conjunto del sector. A partir de estas limitaciones, futuras investigaciones deberían desarrollar estudios de campo en proyectos ecuatorianos, comparar costos de ciclo de vida, evaluar desempeño longitudinal y examinar la influencia de la digitalización, la escala productiva y la regulación sobre la viabilidad real de los sistemas industrializados. También resultaría pertinente incorporar proyectos piloto que permitan contrastar indicadores técnicos, económicos y ambientales bajo condiciones locales. Pese a estas restricciones, el estudio contribuye a reducir la brecha regional al organizar evidencia dispersa y proponer una lectura integrada de los factores que condicionan la adopción de la construcción modular y prefabricada en Ecuador y Latinoamérica (Aghasizadeh et al., 2022; Baptista et al., 2024; Morgan, 2022).

## 5. Conclusiones

Los resultados permiten concluir que la construcción modular y prefabricada presenta un potencial relevante para mejorar el desempeño de los proyectos de ingeniería civil mediante la reducción de tiempos de ejecución, residuos y cargas ambientales. Sin embargo, su incidencia no depende exclusivamente de las ventajas técnicas asociadas con la fabricación fuera del sitio, sino de la interacción entre las condiciones económicas, regulatorias, logísticas, organizacionales y productivas del contexto. La participación de sistemas industrializados en 20,5 % de las iniciativas regionales examinadas evidencia que su incorporación todavía es limitada frente a otras estrategias de sostenibilidad. Asimismo, la variabilidad observada en los costos impide asumir que estos sistemas generan ahorros uniformes en todos los proyectos. En consecuencia, su viabilidad debe valorarse de manera integral y conforme a las características particulares de cada intervención.

Los hallazgos vinculados con los objetivos específicos evidencian que las principales restricciones se concentran en la inversión inicial, el acceso al financiamiento, la regulación, la capacidad del mercado y la coordinación de la cadena de suministro. A su vez, la comparación entre sistemas muestra tendencias favorables en eficiencia temporal y desempeño ambiental, con reducciones documentadas de emisiones superiores a 30 % y disminuciones de residuos mayores a 80 % en determinados casos. No obstante, los resultados económicos presentan una dispersión considerable, debido

a que se registran tanto reducciones como incrementos de costos según la escala, la ubicación y el grado de industrialización. La relación entre los factores de implementación y la viabilidad también demuestra que la planificación temprana, la repetitividad y la integración digital fortalecen las condiciones para aprovechar los beneficios potenciales. Estos resultados deben interpretarse dentro del alcance cualitativo, documental y descriptivo del estudio, sin establecer relaciones causales ni generalizaciones nacionales.

El principal aporte de la investigación consiste en integrar las dimensiones técnica, económica, ambiental, logística y organizacional dentro de una lectura contextual aplicable a Ecuador y Latinoamérica. Esta aproximación permite superar una valoración centrada únicamente en los ahorros de tiempo o materiales y reconoce que la construcción industrializada requiere capacidades institucionales, competencias especializadas y mecanismos de coordinación entre diseño, fabricación, transporte y montaje. La evidencia organizada proporciona criterios útiles para la evaluación preliminar de proyectos públicos y privados, especialmente cuando se consideran indicadores de ciclo de vida y no solo costos directos de construcción. También se observa que la digitalización y la trazabilidad de componentes pueden favorecer una gestión más articulada y facilitar estrategias de reutilización y circularidad. De este modo, el estudio contribuye a reducir la fragmentación de la evidencia regional y fortalece una visión multidimensional de la viabilidad de los sistemas industrializados.

A partir de los resultados se recomienda evaluar la incorporación de sistemas modulares y prefabricados mediante análisis específicos de factibilidad técnica, económica, logística y ambiental antes de su aplicación a gran escala. Las futuras investigaciones deberían desarrollar estudios de campo y proyectos piloto en Ecuador que permitan contrastar costos de ciclo de vida, tiempos reales de ejecución, comportamiento estructural, generación de residuos y desempeño ambiental bajo condiciones locales. También resulta pertinente examinar longitudinalmente la influencia de la escala productiva, la regulación, la capacitación técnica y la interoperabilidad digital sobre la adopción de estos sistemas. La generación de indicadores nacionales contribuiría a reducir la dependencia de estimaciones internacionales y permitiría formular criterios de decisión ajustados al mercado ecuatoriano. En este sentido, la contribución central del estudio radica en establecer una base analítica para orientar la industrialización constructiva desde una perspectiva integrada, prudente y contextualizada.

### Referencias Bibliográficas

- Aghasizadeh, S., Tabadkani, A., Hajirasouli, A., & Banihashemi, S. (2022). Environmental and economic performance of prefabricated construction: A review. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106897. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106897>.
- Baptista, B., Tala, N., López, S., Henriquez, P., Dalaison, W., & Saldías, C. (2024). *Transforming the construction sector in Latin America and the Caribbean: Digitalization, innovation, and sustainability as keys to the future*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0013226>.

Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE Publications. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/thematic-analysis/book248481>

Byrne, D. (2022). A worked example of Braun and Clarke's approach to reflexive thematic analysis. *Quality & Quantity*, 56, 1391–1412. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01182-y>

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2024). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (5th ed.). SAGE Publications. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/qualitative-inquiry-and-research-design/book266033>

Gao, Y., Wang, J., & Yiu, T. W. (2024). Multi-information integration-based life cycle analysis of greenhouse gas emissions for prefabricated construction: A case study of Shenzhen. *Environmental Impact Assessment Review*, 104, 107330. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107330>.

Iacovidou, E., Purnell, P., Tsavdaridis, K. D., & Poologanathan, K. (2021). Digitally enabled modular construction for promoting modular components reuse: A UK view. *Journal of Building Engineering*, 42, 102820. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102820>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Estadísticas de Edificaciones (ESED) 2024: Principales resultados*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas Economicas/Encuesta Edificaciones/2024/anual/2.2024 ES ED Principales resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2024/anual/2.2024_ES_ED_Principales_resultados.pdf)

Jang, H., Ahn, Y., & Roh, S. (2022). Comparison of the embodied carbon emissions and direct construction costs for modular and conventional residential buildings in South Korea. *Buildings*, 12(1), 51.

Khan, A. A., Amirkhani, M., & Martek, I. (2024). Overcoming deterrents to modular construction in affordable housing: A systematic review. *Sustainability*, 16(17), 7611. <https://doi.org/10.3390/su16177611>

Lizarraga-Aguirre, H. R. (2024). Evaluación de materiales sostenibles en la construcción de pavimentos urbano. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 41-54. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/30>

Morgan, H. (2022). Conducting a qualitative document analysis. *The Qualitative Report*, 27(1), 64–77. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5044>

Munmulla, T., Hidallana-Gamage, H. D., Navaratnam, S., Ponnampalam, T., Zhang, G., & Jayasinghe, T. (2023). Suitability of modular technology for house construction in Sri Lanka: A survey and a case study. *Buildings*, 13(10), 2592. <https://doi.org/10.3390/buildings13102592>.

Nguyen, T. D. H. N., Moon, H., & Ahn, Y. (2022). Critical review of trends in modular integrated construction research with a focus on sustainability. *Sustainability*, 14(19), 12282. <https://doi.org/10.3390/su141912282>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). *Global status report for buildings and construction 2024/2025: Not just another brick in the wall*. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>

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>

Rojas-Herrera, C., Martínez-Soto, A., Avendaño-Vera, C., Cancino Carrasco, R., & Reyes Barbato, N. (2025). Industrialized construction: A systematic review of its benefits and guidelines for the development of new constructive solutions applied in sustainable projects. *Applied Sciences*, 15(5), 2308. <https://doi.org/10.3390/app15052308>.

Yuan, Z., Man, Q., Guan, Z., Yi, C., Zheng, M., Chang, Y., & Li, H. X. (2024). Simulation and optimization of prefabricated building construction considering multiple objectives and uncertain factors. *Journal of Building Engineering*, 86, 108830. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108830>.

Zohourian, M., Pamidimukkala, A., Kermanshachi, S., & Almaskati, D. (2025). Modular construction: A comprehensive review. *Buildings*, 15(12), 2020. <https://doi.org/10.3390/buildings15122020>.

## CONFLICTO DE INTERESES

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