

La contruccion de vivienda modular sostenible en contenedores marítimos: un modelo innovador en el departamento de Boyacá.

THE CONSTRUCTION OF SUSTAINABLE MODULAR HOUSING IN SHIPPING CONTAINERS: AN INNOVATIVE MODEL IN THE DEPARTMENT OF BOYACÁ.

Juan Camilo Torres Reyes¹

Resumen

La vivienda modular con contenedores marítimos ha emergido en las últimas dos décadas como una alternativa arquitectónica sostenible, rápida y económicamente competitiva frente a los métodos constructivos tradicionales. Este artículo de revisión pretende analizar los principales avances y tendencias de la vivienda modular con contenedores marítimos, con el fin de identificar sus aportes como modelo innovador de negocio y de construcción sostenible aplicable al contexto colombiano.

La revisión académica de este tema resulta necesaria para identificar los avances y aportes que han documentado investigadores a nivel mundial para comprender de qué manera los contenedores se consolidan como una solución habitacional sostenible y cómo sus beneficios podrían trasladarse al contexto colombiano. Este artículo de revisión aporta una visión integral que trasciende a la descripción de casos, permitiendo discutir la pertinencia de estas construcciones en Colombia, en particular, en Boyacá.

La investigación en el contexto global de la vivienda modular con contenedores, resalta la importancia de analizar su viabilidad en

escenarios locales y justifica la necesidad de una revisión académica que articule sostenibilidad, innovación y accesibilidad económica. Por esto, se establece el punto de partida para un análisis más profundo en el que se presentarán antecedentes, hallazgos y perspectivas sobre este modelo constructivo innovador.

Palabras claves: Vivienda modular, negocio sostenible, contenedores marítimos, asequibilidad, déficit habitacional.

Abstract

Modular housing using shipping containers has emerged in the last two decades as a sustainable, rapid, and economically competitive architectural alternative to traditional construction methods. This review article aims to analyze the main advances and trends in modular housing using shipping containers, in order to identify its contributions as an innovative business and sustainable construction model applicable to the Colombian context.

An academic review of this topic is necessary to identify the advances and contributions documented by researchers worldwide to

.....

¹ M&T Diseño y Construcción S.A.S Contacto: ingenierojuancamilotorres@gmail.com

understand how containers are consolidating as a sustainable housing solution and how their benefits could be transferred to the Colombian context. This review article provides a comprehensive overview that goes beyond case descriptions, allowing for a discussion of the relevance of these constructions in Colombia, particularly in Boyacá.

Research on modular housing using containers in the global context highlights the importance of analyzing its viability in local settings and justifies the need for an academic review that articulates sustainability, innovation, and affordability. Therefore, the starting point is established for a more in-depth analysis in which background, findings, and perspectives on this innovative construction model will be presented.

dular con contenedores puede convertirse en una alternativa viable para responder a necesidades diversas, desde proyectos de interés social, hasta propuestas turísticas o de segunda vivienda en municipios con vocación cultural y natural.

La búsqueda de alternativas constructivas sostenibles, rápidas y accesibles ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas como respuesta a los retos del crecimiento urbano, el déficit habitacional y la crisis ambiental global. En este escenario, la vivienda modular con contenedores marítimos ha surgido como una propuesta innovadora capaz de articular eficiencia, economía circular y adaptabilidad a diversos contextos sociales. Este sistema, basado en la reutilización de contenedores de carga en desuso, responde a una problemática cada vez más visible: el excedente de unidades metálicas almacenadas en puertos alrededor del mundo, cuya disposición representa un desafío logístico y ambiental. Transformar estos módulos en espacios habitables constituye, por tanto, una estrategia que combina sostenibilidad con innovación arquitectónica. Esta revisión tiene como objeto realizar una búsqueda de la literatura a nivel mundial del uso de contenedores marítimos para vivienda modular sostenible, como un modelo de negocio innovador.

Key words:

Modular housing, Sustainable business, Shipping containers, Affordability, Housing shortage.

Introducción

En Colombia, el déficit habitacional cuantitativo y cualitativo continúa siendo una de las principales problemáticas sociales y económicas; según cifras recientes, miles de familias carecen de acceso a una vivienda propia o habitan en condiciones inadecuadas. Departamentos como Boyacá presentan una realidad particular: mientras que en las zonas urbanas existe presión por la expansión de conjuntos residenciales y desarrollos verticales, en áreas rurales se requieren soluciones flexibles, asequibles y adaptadas a las condiciones climáticas locales. En este contexto, la adopción de la vivienda mo-

Planteamiento del problema

El déficit habitacional constituye uno de los desafíos más persistentes en América Latina y en particular, en Colombia. Este fenómeno no solo se manifiesta en la insuficiencia de viviendas construidas para atender la demanda, sino también en la baja calidad de muchas de las existentes, que no cumplen condiciones mínimas de habitabilidad, seguridad estructural o eficiencia energética;

a este panorama se suma el incremento de los costos de materiales de construcción tradicionales, la escasez de suelo urbano y la necesidad de dar respuesta a emergencias derivadas de fenómenos naturales como inundaciones, sismos o deslizamientos. En este contexto, resulta imperativo explorar modelos constructivos alternativos e innovadores que sean sostenibles, económicos y replicables en diferentes escalas territoriales.

El problema central radica en la contradicción entre el alto potencial de los contenedores como recurso constructivo y la baja implementación en el país, convirtiéndose en una limitante técnica y normativa, ya que la normativa constructiva en Colombia no contempla de manera específica la transformación de contenedores en vivienda, lo que genera incertidumbre jurídica y dificultades para obtención de licencias. A pesar de que existe evidencia científica que respalda sus ventajas en términos de sostenibilidad, rapidez constructiva y eficiencia en costos, las políticas públicas y los lineamientos normativos en Colombia no han incorporado de manera explícita esta tecnología dentro de los programas de vivienda. Esto genera una brecha entre el conocimiento académico acumulado y la práctica profesional local, lo que impide que comunidades vulnerables se beneficien de una solución viable ya probada en otras regiones del mundo.

Por otra parte, existen otras limitantes como las percepciones sociales negativas, persistentes en la asociación de los contenedores con estructuras precarias o provisionales, lo cual dificulta su aceptación como viviendas dignas y permanentes; la escasa transferencia tecnológica, ya que, aunque existen experiencias internacionales exitosas, estas

no se han adaptado ni escalado adecuadamente al contexto local.

Las consecuencias de no abordar este problema son múltiples. En primer lugar, se mantiene el déficit habitacional, afectando la calidad de vida de millones de familias. En segundo lugar, se desaprovecha un recurso disponible a bajo costo (contenedores en desuso) que podría contribuir a proyectos sostenibles. Finalmente, se limita la innovación en el sector de la construcción, impidiendo que Colombia se alinee con las tendencias globales de sostenibilidad y construcción modular.

En el caso particular de Boyacá, la problemática adquiere matices adicionales. Se trata de un departamento con una amplia diversidad territorial: áreas urbanas en crecimiento que demandan vivienda económica, zonas rurales con necesidades habitacionales básicas y municipios turísticos que requieren infraestructura innovadora para atender la demanda de visitantes. La ausencia de estrategias locales que integren soluciones modulares sostenibles limita la posibilidad de responder con rapidez y calidad a estas demandas.

Este escenario conduce a formular la siguiente pregunta problematizadora: ¿De qué manera la vivienda modular con contenedores marítimos puede constituirse en una alternativa viable para reducir el déficit habitacional y convertirse en un modelo de negocio innovador en Colombia?

Responder esta pregunta exige un análisis riguroso de la literatura producida a nivel global, con el fin de identificar tendencias, ventajas, limitaciones y vacíos en el conocimiento. El presente artículo de revisión busca precisamente aportar a este debate,

ofreciendo un marco comparativo que sirva de base para el diseño de modelos innovadores de vivienda en Colombia y Boyacá, alineados con principios de sostenibilidad, dignidad y viabilidad económica.

Revisión de Antecedentes

En los últimos años, la vivienda modular con contenedores marítimos ha sido objeto de un creciente número de investigaciones que han abordado la temática desde múltiples perspectivas. Para la revisión de la literatura las categorías que se incluyeron en la búsqueda fueron: vivienda modular sostenible en contenedores marítimos; modelo de negocio innovador, asequibilidad a vivienda.

De estas categorías la más relevante fue vivienda modular en contenedores marítimos con 82%, donde (Garcia, 2021) y (Chen L, 2019) hablan sobre modelos innovadores y flexibles; (Hernandez, G., & Cruz, A, 2015) menciona la importancia de la arquitectura con la construcción con contenedores; por otra parte (Martínez, P., 2016) menciona la ya existencia de edificios de contenedores utilizados con fines residenciales y (Minero, 2017) quien aporta que el uso de contenedores no solo abarca proyectos habitacionales sino que también se puede aplicar en la industria y en proyectos mineros, reafirmando así la versatilidad del uso de contenedores para la construcción de vivienda. En cuanto a sostenibilidad varios autores aportan estudios importantes para la revisión de sostenibilidad, por ejemplo, (López, 2019) quien promueve una gran potencia de sostenibilidad de casas modulares; (Battaglia, F., & Lee, J., 2024) postula un proyecto donde evalúa la viabilidad de convertir energía cero con la construcción con contenedores marítimos, esto diseñando un aislamiento térmico que incluya el

uso de paneles solares y un diseño pasivo, por ultimo (Gómez, C. (2021)., 2021) quien realiza un correlación entre sostenibilidad y construcción con vivienda modular, mencionando el uso de materiales reciclados, materiales renovables y la optimización de los recursos.

La segunda categoría que con una relevancia menor se evidencio en la búsqueda fue modelo de negocio innovador con un 12% (Zhang, Y., & Liu, H., 2019) quien plantea una investigación del desarrollo que pueden tener los edificios modulares a futuro; (Thompson, J., 2020) quien propone no solo un modelo de negocio con vivienda modular sino que también incorpora la propuesta de laboratorios transportables como un modelo viable de negocio; (Silva, C., & Costa, R. (2022)., 2018) vio una oportunidad en el uso de materiales envolventes en la construcción de edificios sostenibles aplicado en 23 barrios de interés social. (Sánchez, J., & Mora, D., 2021) ven en el sector de la construcción una visión de innovación en la vivienda modular en América Latina y (Ramírez, F., 2018) refiere que la construcción de vivienda modular no solo es ecológica sino que también se empieza a categorizar como un negocio rentable a nivel global.

Por último, la categoría de asequibilidad a la vivienda se relacionó en la búsqueda en un 6%; (Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T., 2019) menciona el uso del concepto de vivienda en contenedores marítimos como una solución de vivienda de bajo costo en zonas urbanas, lo que lo hace asequible; (Nepomuceno, M., Andrade, J., & Oliveira, L., 2013) refieren que son más asequibles los edificios de viviendas con contenedores rehabilitados ya que reducen costos y aumentan la asequibilidad y por ultimo (Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R., 2024) quien



aporte uno de los puntos que los lleva a ser más asequibles es el análisis energético que lleva al futuro a ser de bajo costo.

Este análisis se realizó en los últimos 11 años, desde 2004 y hasta 2025; usando la base de datos *Scopus*, en la cual se realizó la búsqueda de 120 documentos relacionados que se clasificaron de la siguiente manera; artículos en 93% y trabajos de grado 5%; y ponencias 2%; los países con más publicaciones son países del continente europeo, en 40%, seguido de México en 30% y Colombia en 15%, por último el restante 15% está distribuido en países como China, Chile, Ecuador, Argentina, Perú, entre otros; las palabras clave utilizadas para la búsqueda fueron Vivienda modular, negocio sostenible, contenedores marítimos, asequibilidad, déficit habitacional. El abordaje de estos estudios permite trazar un estado del arte que evidencia tanto el potencial de este modelo constructivo como las limitaciones que aún enfrenta para consolidarse como una solución habitacional masiva. Esto se puede poner al final.

Al profundizar en los antecedentes, es posible identificar patrones claros en la autoría y en las instituciones que lideran la investigación sobre vivienda modular en contenedores marítimos. Un análisis de la literatura muestra que los autores con mayor predominio concentran una parte importante de las publicaciones. Por ejemplo, investigadores como (García, 2021), (Chen L, 2019) y (Hernández, G., & Cruz, A, 2015) representan conjuntamente un porcentaje significativo del total de artículos analizados, situándose en torno al 20% de la producción de la información. Otros autores como (Martínez, P., 2016), (Minero, 2017) y (López, 2019) aportan cada uno entre 5% y 8% de los estudios relacionados con esta investigación, lo que

evidencia una base académica diversificada, pero con núcleos claros de liderazgo. Destaca también la contribución de (Tanque, J., 2018), quien, aunque con menor cantidad relativa de artículos (aproximadamente el 3%), constituye un referente recurrente citado en la literatura especializada.

En cuanto a las universidades, el análisis evidencia que instituciones europeas como la Universidad de Lisboa, la Politécnica de Milán y la Universidad de Stuttgart concentran alrededor del 25% de la producción académica en esta línea de investigación. En América Latina, sobresalen la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con aproximadamente 10% de los estudios, y en Colombia, la Universidad Nacional y la Universidad de Los Andes, que sumadas representan el 8%. Este panorama confirma que, aunque Europa lidera la agenda científica en la materia, existe un creciente interés en países de Latinoamérica, donde las universidades empiezan a consolidar grupos de investigación enfocados en sostenibilidad y vivienda modular (Silva, C., & Costa, R. (2022)., 2018)

Discusión

Esta revisión permite identificar un conjunto de hallazgos recurrentes en torno a la construcción de vivienda modular con contenedores marítimos. En términos generales, los estudios coinciden en que el reciclaje de contenedores reduce significativamente la huella de carbono y los residuos derivados de la construcción, aportando a los principios de la economía circular (El Messeidy, 2018); (Nepomuceno, M., Andrade, J., & Oliveira, L., 2013). Asimismo, se destaca que la modularidad y la estandarización de las unidades ISO facilitan procesos de



prefabricación, disminuyendo tiempos de ejecución y costos asociados (Şener, S. M., & Torus, B., 2014)

Los artículos revisados también resaltan la versatilidad de los contenedores en diversos usos: vivienda social, proyectos turísticos, residencias estudiantiles, laboratorios científicos transportables y refugios *posdesastre* (Nepomuceno, M., Andrade, J., & Oliveira, L., 2013); Novák *et al.*, 2022; (Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R., 2024). Sin embargo, se señalan desafíos importantes como el confort térmico en climas extremos (Cruz, R., Santos, P., & Pacheco, L., 2021) la ausencia de normativas claras que regulen este tipo de construcciones (Bernardo *et al.*, 2013) y la percepción social que asocia los contenedores con precariedad (Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T., 2019). Dentro de la revisión se destacan tres categorías que permite orientar el objeto de la investigación como lo son:

Vivienda modular sostenible

La literatura reciente coincide en que la vivienda modular basada en contenedores marítimos constituye una de las expresiones más representativas de la transición hacia modelos constructivos sostenibles y circulares. Más allá de la reutilización de un elemento industrial, esta tipología implica repensar los ciclos de vida de los materiales y los sistemas constructivos. De acuerdo con (Garusinghe, G. D. A. U., Perera, B. A. K. S., & Weerapperuma, U. S., 2023), la adopción de principios de economía circular en la construcción modular, reutilización, desmontaje y trazabilidad permite reducir hasta 63 % el potencial de calentamiento global frente a modelos lineales. Su investigación, desarrollada mediante el método *Delphi* con 18 expertos internacionales, demuestra que

la estandarización de uniones reversibles y la documentación digital de componentes facilitan la recuperación y reintegración de materiales al final del ciclo de vida útil.

La sostenibilidad ambiental de este sistema se ha analizado, principalmente, mediante **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**. (Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T., 2019) compararon una vivienda de contenedores con una vivienda de acero liviano y concluyeron que la fase operativa no la de fabricación representa la mayor carga ambiental. De modo semejante, (Battaglia, F., & Lee, J., 2024), empleando simulaciones dinámicas con *DesignBuilder*, mostraron que el aislamiento continuo, los techos verdes y los sistemas de ventilación pasiva disminuyen en 22 % la demanda energética anual de una vivienda modular. Estos estudios permiten afirmar que la sostenibilidad no está garantizada por el simple re-uso del contenedor; depende del desempeño térmico y del contexto climático.

En países tropicales, el desafío principal radica en controlar la ganancia térmica del acero. (Cruz, R., Santos, P., & Pacheco, L., 2021) desarrollaron un estudio de caso en Filipinas con mediciones *in situ* y comprobaron que la temperatura interior puede superar en 8 °C la exterior si no se incorporan barreras reflectivas y ventilación cruzada. (Mvubu, 2020) en Sudáfrica, verificaron resultados similares en entornos áridos y propusieron el uso de paneles *sándwich* de poliuretano de alta densidad y recubrimientos cerámicos reflectivos. Ambos trabajos emplearon metodologías experimentales complementadas con modelaciones térmicas, consolidando evidencia empírica sobre la importancia de la envolvente. Los estudios en Europa también documentan un buen desempeño con medidas de aisla-

miento básicas, mientras que investigaciones en Filipinas y Sudáfrica advierten que en climas tropicales y desérticos se requieren mayores inversiones en materiales de envolvente para garantizar la habitabilidad (Cruz, R., Santos, P., & Pacheco, L., 2021); (Mvubu, 2020). Sin embargo, existen críticas como que la sostenibilidad no está garantizada automáticamente; algunos estudios señalan que el transporte prolongado, el sobre refuerzo de acero o el uso de acabados de alto impacto ambiental pueden diluir la ventaja ecológica de los contenedores frente a los sistemas convencionales (Bernardo, L., Simões, A., & Pinho, F., 2013). Algunos autores utilizaron principalmente análisis de ciclo de vida (El Messeidy, 2018), simulaciones energéticas dinámicas (Battaglia, F., & Lee, J., 2024) (Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R., 2024) y modelación estructural por elementos finitos (Bernardo, L., Simões, A., & Pinho, F., 2013)

Más recientemente, (Pinilla-Melo, J., Aira-Zunzunegui, J. R., La Ferla, G., de la Prida, D., & Navacerrada, M. Á., 2025) evaluaron de manera integral el desempeño estructural, térmico y acústico de una vivienda prototipo en España. Su estudio combinó ensayos de laboratorio (transmitancia, resistencia acústica y cargas verticales) con simulación *FEM*. Los resultados demostraron que un contenedor modificado con doble acristalamiento y piso flotante cumple las exigencias del código técnico europeo en aislamiento a ruido aéreo ($R_w > 45$ dB) y alcanza un consumo energético de ≤ 60 kWh/m²·año. La metodología *mixta* de laboratorio y simulación utilizada por estos autores representa una línea avanzada de investigación que integra confort, estructura y sostenibilidad.

Otro enfoque innovador lo aporta el concepto de **Diseño para Desmontaje (DfD)**. Estu-

dios como el de (Ostapska, K., *et al.*, 2024) sistematizaron más de 120 experiencias de construcción modular y concluyeron que el *DfD* no sólo facilita el reciclaje, sino que también reduce en 30 % el tiempo de rehabilitación o reconfiguración de los módulos. Esta perspectiva resulta especialmente útil para contextos donde la flexibilidad de uso y el mantenimiento son determinantes, como proyectos turísticos o de vivienda temporal.

Los avances tecnológicos han sido acompañados por simulaciones energéticas cada vez más precisas. (Suo, H., Guan, X., Wu, S., & Fan, Z., 2023) aplicaron *TRNSYS v.18* para modelar viviendas modulares en zonas subtropicales bajo escenarios climáticos 2050 y 2080, concluyendo que la eficiencia de la envolvente puede compensar parcialmente el aumento térmico proyectado. Por su parte, el estudio *Climate Characterization and Energy Efficiency in Container Housing* (2024) comparó 30 ubicaciones europeas, mostrando variaciones de demanda energética de hasta 40 % según el tipo de apilamiento y la orientación. Estos trabajos evidencian la necesidad de estrategias de diseño específicas para cada zona bioclimática.

Los autores coinciden en que la vivienda con contenedores marítimos contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir residuos, reutilizar materiales y disminuir emisiones de CO₂ Bernardo *et al.*, 2013; (El Messeidy, 2018). Investigaciones en Bélgica, Brasil e Italia muestran que la implementación de estrategias como techos verdes, aislamiento adecuado y ventilación natural mejora significativamente la eficiencia energética y el confort térmico de los usuarios (Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R., 2024) (Silva, C., & Costa, R. (2022)., 2018); (Battaglia, F., & Lee, J., 2024)



En síntesis, la categoría de **vivienda modular sostenible** reúne evidencias sólidas sobre la viabilidad ambiental de los contenedores reutilizados, pero también delimita sus condiciones de éxito: una envolvente eficiente, un diseño adaptable y una gestión integral del ciclo de vida. La convergencia metodológica ACV, simulación energética, estudios *in situ* y DfD consolida un marco científico robusto que permite proyectar la tipología hacia contextos distintos al europeo o asiático. En el caso colombiano, estas lecciones sugieren que la implementación debe considerar los microclimas andinos, la radiación solar elevada y la disponibilidad de materiales locales aislantes. En regiones como Boyacá, donde la temperatura promedio oscila entre 14 y 19 °C y la amplitud térmica diaria es moderada, el potencial de confort térmico pasivo es alto si se combinan aislamiento, orientación adecuada y ventilación natural.

modular asequible. Mediante un análisis temático y modelado de tópicos (*topic modelling*), identificaron cuatro ejes de innovación: eficiencia de costos, velocidad de construcción, sostenibilidad y personalización. Concluyeron que las empresas exitosas son aquellas que dominan simultáneamente la **integración vertical** (diseño, fabricación, montaje) y la **innovación digital**, usando *BIM* y cadenas de suministro inteligentes. Esta evidencia empírica confirma que el valor competitivo del sistema modular no reside únicamente en el producto el contenedor, sino en la forma de organizar y escalar el negocio.

Por su parte, (Martínez, P., 2016) y (Martínez-García, 2014) analizaron estudios de caso turísticos en España y América Latina, empleando metodologías de análisis de ciclo de proyecto y entrevistas semiestructuradas. Ambos autores demostraron que la prefabricación modular posibilita la **diversificación del mercado inmobiliario**: desde el turismo sostenible y las residencias estudiantiles hasta microhoteles o espacios comerciales temporales. Estas investigaciones revelan que el contenedor puede transformarse en un producto de alto valor estético y simbólico cuando se combina con estrategias de diseño bioclimático y marketing territorial.

En contextos emergentes, el modelo de negocio innovador enfrenta desafíos regulatorios y financieros. (Sánchez, J., & Mora, D., 2021), a través de un estudio comparativo en seis países latinoamericanos, identificaron que la falta de normas específicas y de mecanismos de certificación limita la escalabilidad de las empresas modulares. Utilizando entrevistas con gestores y análisis de políticas públicas, los autores propusieron crear **marcos de homologación** que

Modelo de negocio innovador

El auge de la vivienda modular basada en contenedores ha impulsado una transformación profunda en la manera de concebir la industria constructiva. No se trata solo de un cambio tecnológico, sino de un **nuevo modelo de negocio** que combina industrialización, sostenibilidad y flexibilidad de uso. Los primeros análisis de este enfoque se centraron en la reducción de tiempos y costos, aspectos señalados por (Nepomuceno, M., Andrade, J., & Oliveira, L., 2013), pero la literatura reciente demuestra que la verdadera innovación radica en la articulación de procesos productivos, cadenas logísticas y modelos de valor que integren los principios de la economía circular y la digitalización.

En esta línea, (Moussavi, 2025) realizaron una revisión sistemática de 43 estudios y documentos industriales sobre vivienda

modular asequible. Mediante un análisis temático y modelado de tópicos (*topic modelling*), identificaron cuatro ejes de innovación: eficiencia de costos, velocidad de construcción, sostenibilidad y personalización. Concluyeron que las empresas exitosas son aquellas que dominan simultáneamente la **integración vertical** (diseño, fabricación, montaje) y la **innovación digital**, usando *BIM* y cadenas de suministro inteligentes. Esta evidencia empírica confirma que el valor competitivo del sistema modular no reside únicamente en el producto el contenedor, sino en la forma de organizar y escalar el negocio.

reconozcan las viviendas modulares como construcciones formales, lo que reduciría la incertidumbre jurídica y aumentaría la confianza de inversionistas y compradores. Estas conclusiones se alinean con los planteamientos de (Bernardo, L., Simões, A., & Pinho, F., 2013), quienes advirtieron que el vacío normativo genera resistencia institucional y social frente al uso de contenedores como vivienda.

En el ámbito internacional, el (Forum, 2025) documentó, mediante estudios de productividad y datos de 100 empresas, que la industrialización modular puede **reducir en 50 % el tiempo total de obra y disminuir hasta en 20 % los costos** cuando existe una cadena de suministro estandarizada. Este informe plantea que la construcción modular no debe verse solo como una alternativa sostenible, sino como una **revolución productiva**, comparable a la transición industrial de la manufactura. La incorporación de tecnologías de trazabilidad, robótica y control de calidad en fábrica convierte a las empresas modulares en actores híbridos entre el sector manufacturero y el de la construcción.

Asimismo, (Zhang, Y., & Liu, H., 2019) destacaron el potencial de **escalabilidad global** del modelo mediante la estandarización de componentes. En su investigación, basada en análisis de datos de mercado y entrevistas con desarrolladores en Asia y Europa, concluyeron que la modularidad facilita la exportación de “kits de vivienda” o soluciones llave en mano. Este enfoque abre la puerta a **modelos de franquicia o licencia tecnológica**, donde una empresa puede producir módulos certificados en un país y ensamblarlos en otro, reduciendo los impactos del transporte y mejorando la trazabilidad.

Desde la perspectiva de innovación social, (Thompson, J., 2020) examinó el surgimiento de laboratorios y oficinas móviles basadas en contenedores, aplicando un enfoque de *research through design*. Sus hallazgos muestran que la **adaptabilidad funcional** y la **reversibilidad de uso** son elementos claves del valor del producto modular. Estas características, unidas a la rapidez de implementación, permiten atender necesidades urgentes como salud móvil, educación o vivienda temporal y posicionan a la construcción modular como una estrategia resiliente frente a emergencias o variabilidad del mercado.

Un hallazgo transversal en la literatura es que los proyectos con mayor aceptación pública son aquellos que **vinculan la identidad local con la innovación tecnológica**. Investigaciones de (Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R., 2024) demostraron que integrar materiales y acabados propios del contexto cultural incrementa la percepción de valor y legitimidad social. Desde esta óptica, el modelo de negocio innovador no solo produce unidades modulares, sino experiencias habitacionales coherentes con el territorio.

En América Latina, varios autores coinciden en que la consolidación del sector modular requiere un **ecosistema de soporte** compuesto por tres pilares: normas técnicas adaptadas, incentivos fiscales y programas de formación de mano de obra. (Sánchez, J., & Mora, D., 2021) destacan que la capacitación es esencial para mantener la calidad y reducir los costos de montaje, pues la carencia de técnicos formados anula parte de la ventaja productiva. (Moussavi, 2025) complementan que la innovación empresarial debe acompañarse de políticas de innovación pública, de modo que las pequeñas empresas constructoras puedan



acceder a créditos blandos o asociaciones público-privadas.

La literatura coincide en que la modularidad y rapidez constructiva de los contenedores los convierte en un modelo atractivo para negocios emergentes, desde proyectos turísticos hasta residencias estudiantiles y espacios comerciales (Nepomuceno, M., Andrade, J., & Oliveira, L., 2013); (Martínez, P., 2016); Novák et al., 2022). Se resalta la posibilidad de generar propuestas diferenciadas en mercados como el turismo sostenible y el alojamiento temporal (Şener, S. M., & Torus, B., 2014); (El Messeidy, 2018). En contextos europeos y norteamericanos, los contenedores se comercializan como soluciones premium y de diseño exclusivo (Martínez, P., 2016), mientras que en Asia y África se destinan principalmente a proyectos de bajo costo o viviendas de emergencia (Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T., 2019). Sin embargo, varios autores señalan que la innovación como negocio depende de la existencia de marcos regulatorios claros y de la aceptación social. En países con normativas consolidadas, el modelo prospera; en América Latina, las trabas normativas y el estigma cultural limitan su expansión (Bernardo et al., 2013). Entre los métodos se encuentran estudios de caso de proyectos turísticos por (Martínez-García, 2014), comparativos de costos y tiempos por (Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T., 2019), y análisis de experiencias en diseño generativo de refugios *posdesastre* (Şener, S. M., & Torus, B., 2014).

En síntesis, el modelo de negocio innovador en vivienda modular se fundamenta en la convergencia entre **industrialización, sostenibilidad y valor territorial**. Los métodos de investigación revisados estudios de caso, análisis comparativos, revisión sistemática,

entrevistas y análisis de políticas evidencian una madurez creciente del campo. Para el contexto colombiano, estas lecciones sugieren la necesidad de fortalecer la cadena de valor local: desde talleres de transformación de contenedores en la región Caribe hasta centros logísticos en el altiplano cundiboyacense. En municipios como **Villa de Leyva**, con alto potencial turístico, este modelo podría traducirse en una estrategia empresarial sostenible que combine alojamiento ecológico, innovación arquitectónica y generación de empleo regional.

Asequibilidad a la vivienda

El componente de **asequibilidad** representa una de las dimensiones más relevantes dentro del debate sobre la vivienda modular sostenible. Su análisis trasciende la reducción de costos iniciales: implica evaluar la relación entre el precio de producción, la eficiencia operativa y la capacidad de los hogares para acceder, mantener y habitar estas soluciones en el tiempo.

Diversos estudios sostienen que los contenedores marítimos pueden ofrecer reducciones de entre **40 % y 60 % en los costos de construcción**, debido a la estandarización de componentes y a la rapidez de montaje. (Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T., 2019) mediante un análisis comparativo en Sri Lanka, demostraron que una vivienda en contenedor requiere 35 % menos tiempo y 55 % menos gasto total frente a una edificación convencional de hormigón. Este enfoque cuantitativo se apoyó en matrices de costos por fases (diseño, fabricación, transporte y montaje), permitiendo aislar los factores de mayor impacto. En la misma línea, (Şener, S. M., & Torus, B., 2014) evaluaron proyectos modulares de emergencia en Turquía y concluyeron que la reutilización de



unidades *ISO* redujo significativamente los costos logísticos y de adecuación de terreno en contextos *posdesastre*.

Sin embargo, la literatura reciente advierte que la asequibilidad no puede asumirse como un atributo automático del sistema. (Kysiak, A., & Szuba, B. (2023).), en Polonia, aplicaron una metodología de análisis mixto (encuestas a usuarios, revisión de presupuestos y entrevistas con constructores) para medir el costo total de propiedad de viviendas modulares. Encontraron que, en regiones sin infraestructura industrial ni proveedores especializados, los ahorros iniciales se ven compensados por mayores gastos de transporte, montaje y mantenimiento. De esta manera, el grado de desarrollo de la **cadena productiva local** se convierte en un determinante clave de la accesibilidad económica.

(Moussavi, 2025) ampliaron esta perspectiva mediante un modelo conceptual de “asequibilidad integral”, que incorpora no solo el costo de construcción, sino también los gastos energéticos, el financiamiento y los incentivos regulatorios. A través de un enfoque mixto que combinó revisión bibliográfica y entrevistas a actores del sector, concluyeron que la vivienda modular puede ser asequible solo si existen mecanismos institucionales de apoyo, como subsidios para tecnologías sostenibles o créditos verdes. En su estudio, la ausencia de marcos normativos adaptados resultó ser la principal barrera para el escalamiento de proyectos de bajo costo.

Por otro lado, (Battaglia, F., & Lee, J., 2024) plantean que la asequibilidad debe analizarse desde el **costo del ciclo de vida (LCC)**. Su investigación, basada en simulaciones energéticas en climas mediterráneos, demuestra que los gastos de operación y mantenimiento representan hasta el 40 % del

costo total de una vivienda modular a 30 años. Al optimizar la envolvente y los sistemas pasivos, se logra reducir ese valor en un 25 %, aumentando la asequibilidad real a largo plazo. Este planteamiento coincide con los trabajos de (Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R., 2024) en Brasil, quienes evidencian que una vivienda en contenedor equipada con aislamiento continuo y ventilación pasiva puede recuperar su sobre costo inicial en menos de cinco años por ahorro energético.

La localización geográfica también es un factor determinante. (Hikone, S., & Tokubuchi, M., 2014), en Japón, y (Cruz, R., Santos, P., & Pacheco, L., 2021), en Filipinas, estudiaron la implementación de contenedores como refugios temporales y viviendas de transición. A través de estudios de caso longitudinales, verificaron que la rapidez de entrega y la durabilidad del acero reducen costos sociales y económicos tras desastres naturales. En contraste, en zonas urbanas de alto valor de suelo, los costos de transporte y adecuación pueden elevar el precio final por metro cuadrado, lo que requiere políticas de suelo y subsidio específicas.

En síntesis, los métodos empleados para evaluar la asequibilidad análisis comparativo de costos, estudios de caso, encuestas, simulaciones energéticas y modelaciones de ciclo de vida convergen en un mismo punto: la asequibilidad no depende únicamente del material o de la técnica constructiva, sino del **ecosistema institucional y productivo** en que se inserta. Allí radica una lección crucial para América Latina: la innovación tecnológica debe ir acompañada de programas de financiamiento, incentivos fiscales y regulación adaptada a la vivienda modular.

A partir de la revisión y del análisis comparativo de la literatura internacional, con-



sidero que la vivienda modular sostenible basada en contenedores marítimos posee un **potencial tangible de aplicación en Boyacá**, particularmente en municipios como **Villa de Leyva**, donde confluyen tres condiciones estratégicas: vocación turística, clima templado y disponibilidad de suelo para proyectos de baja densidad.

Desde la dimensión ambiental, los hallazgos de estudios como los de (Garusinghe, G. D. A. U., Perera, B. A. K. S., & Weerapperuma, U. S., 2023) (Suo, H., Guan, X., Wu, S., & Fan, Z., 2023) y (Battaglia, F., & Lee, J., 2024) respaldan la posibilidad de alcanzar edificaciones de baja huella de carbono si se incorporan estrategias de aislamiento térmico, techos verdes y sistemas pasivos de ventilación. En Villa de Leyva, la temperatura media anual cercana a 18 °C favorece el desempeño energético de los contenedores, siempre que se diseñe una envolvente adecuada y se aproveche la radiación solar para generación fotovoltaica. Esto permitiría desarrollar unidades con autonomía parcial y reducir costos operativos, contribuyendo a la sostenibilidad integral del territorio.

En la dimensión empresarial, el modelo modular ofrece ventajas de logística y prefabricación que podrían fortalecer el tejido productivo regional. La posibilidad de crear talleres locales de acondicionamiento y montaje de contenedores no solo dinamiza el empleo, sino que genera encadenamientos con proveedores de aislamiento, carpintería metálica y acabados. Siguiendo las recomendaciones de (Moussavi, 2025) y (Sánchez, J., & Mora, D., 2021), la creación de un marco de certificación departamental y la articulación con programas de turismo sostenible serían pasos decisivos para institucionalizar esta línea de negocio en Boyacá.

Desde la dimensión social, la asequibilidad de la vivienda modular podría facilitar el acceso de familias jóvenes o trabajadores del sector turístico a soluciones habitacionales dignas, reduciendo la presión sobre el suelo urbano consolidado. Sin embargo, como enfatizan (Kysiak, A., & Szuba, B. (2023).), la verdadera asequibilidad se alcanza solo cuando los costos de operación y mantenimiento son bajos y cuando existen instrumentos financieros adecuados. En este sentido, es necesario que las políticas locales promuevan líneas de crédito verde, subsidios energéticos y simplificación de trámites para proyectos de construcción modular.

En conjunto, los resultados de la revisión respaldan la idea de que Boyacá cuenta con condiciones favorables para convertirse en un referente nacional en vivienda modular sostenible. La clave está en **adaptar las experiencias internacionales a las realidades locales**, fortaleciendo la formación técnica, la regulación y la cooperación entre sector público y privado. Desde mi experiencia profesional, considero que la implementación gradual de proyectos piloto en Villa de Leyva podría demostrar la viabilidad técnica y económica del modelo, al tiempo que aportaría evidencia científica y práctica para futuras políticas de vivienda sostenible en Colombia.

En conjunto, la revisión muestra que la construcción modular con contenedores marítimos posee ventajas significativas en términos de sostenibilidad, innovación empresarial y asequibilidad a la vivienda. Sin embargo, persisten limitaciones relacionadas con el confort térmico en climas extremos, la falta de normativas claras y la aceptación social. Para el contexto colombiano, y en particular en Boyacá, se re-



quiere avanzar en investigaciones aplicadas que adapten estos aprendizajes globales a las realidades locales, de manera que se consolide un modelo de negocio innovador que facilite el acceso a vivienda digna y sostenible.

Conclusiones

La revisión realizada permite afirmar que la construcción de vivienda modular sostenible a partir de contenedores marítimos representa una solución técnicamente factible, ambientalmente responsable y económicamente accesible, con un alto potencial de adaptación al contexto del Departamento de Boyacá. Este modelo responde eficazmente a problemáticas estructurales como el déficit habitacional, los altos costos de construcción y la escasez de soluciones sostenibles adaptadas a territorios con características geográficas y climáticas diversas. De esta manera la vivienda modular con contenedores marítimos puede constituirse como una alternativa viable para reducir el déficit habitacional y convertirse en un modelo de negocio innovador en Colombia, especialmente en el Departamento de Boyacá.

Se concluye que la vivienda modular en contenedores ofrece una alternativa innovadora que no solo reduce significativamente los tiempos y costos de construcción, sino que también incorpora principios de economía circular, reutilización de materiales y eficiencia energética. Estas características permiten plantearla como una estrategia viable tanto para proyectos de vivienda social como para iniciativas turísticas, educativas o rurales en municipios con vocación cultural y ambiental. Asimismo, este sistema constructivo se perfila como un modelo de negocio disruptivo, capaz de dinamizar la economía

regional, fomentar emprendimientos locales y generar nuevas oportunidades en el sector de la construcción. Su escalabilidad, modularidad y adaptabilidad lo convierten en una herramienta flexible para atender distintas necesidades habitacionales, desde soluciones temporales hasta viviendas permanentes de alta calidad.

Sin embargo, su implementación efectiva requiere superar ciertas barreras estructurales, entre ellas la falta de normativas específicas, la resistencia social frente a nuevas tipologías habitacionales y la escasa articulación entre actores públicos, privados y académicos. Estas limitaciones deben entenderse como desafíos de innovación, y no como obstáculos definitivos. Superarlas permitirá posicionar esta alternativa como una solución real y transformadora dentro del sistema habitacional colombiano.

Finalmente, puede afirmarse que la vivienda modular en contenedores no solo constituye una opción viable desde el punto de vista técnico y económico, sino también una oportunidad estratégica para re-imaginar el futuro del hábitat en Boyacá. Su adopción permitirá avanzar hacia modelos más sostenibles, inclusivos y resilientes, contribuyendo al bienestar de las comunidades, a la modernización del sector de la construcción y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible a nivel regional y nacional.

Recomendaciones

De la anterior revisión se plantean algunas recomendaciones en diferentes sectores y factores; como lo son para la política pública en Boyacá, se recomienda Incluir la vivienda modular en contenedores dentro de los programas de vivienda de interés so-



cial y prioritario, con lineamientos técnicos específicos en licenciamiento, seguridad estructural y eficiencia energética. para la investigación y validación técnica seria de mucho interés implementar proyectos piloto en Boyacá que permitan evaluar el desempeño real en términos de confort térmico, consumo energético, costos y percepción social, cerrando la brecha entre teoría e implementación local.

Para la asequibilidad se recomienda diseñar esquemas de financiamiento, subsidios y créditos blandos que permitan que este tipo de vivienda llegue efectivamente a la población vulnerable y no quede restringida a nichos privados y así el sector constructor, se haga necesario el promover alianzas público-privadas que conviertan este modelo en una línea de negocio innovadora en turismo (*glamping*, hospedaje modular), vivienda estudiantil y proyectos rurales en Boyacá. Y de esta manera contribuir a la sostenibilidad integral, para complementar la construcción modular con tecnologías de energías renovables, techos verdes y sistemas de eficiencia hídrica, garantizando que la asequibilidad se extienda a todo el ciclo de vida de la vivienda.

Respondiendo a la pregunta problema, se recomienda avanzar hacia la formulación de un modelo boyacense de vivienda modular en contenedores, que integre criterios técnicos, ambientales, sociales y normativos, demostrando que este sistema no solo es posible, sino estratégico para enfrentar el déficit habitacional del Departamento.

Referencias

Battaglia, F., & Lee, J. . (2024). Performance evaluation of shipping container housing

for net-zero energy. . *Energy Research Journal*, 28(2), 223–240.

Bernardo, L., Simões, A., & Pinho, F. . (2013). Recycling of shipping containers for housing: Opportunities and challenges. *Journal of Construction and Architecture*, 7(1), 55–67.

Chen L. (2019). Investigacion sobre el diseño modular. *Modular Enegieering Journal*, 5 (2), 120-135.

Cruz, R., Santos, P., & Pacheco, L. (2021). Evaluación del clima en viviendas contenedor. *Energy and Buildings*, 45(3), 400–417.

El Messeidy, R. (2018). Adapting shipping containers as temporary shelts in terms of recycling sustainability and green architecture. *Engineering Research Journal*, 160, A33- A40.

Forum, W. E. (january de 2025). How modular construction drives productivity and circularity. *World Economic Forum*.

García, D. &. (2021). Vivienda modular flexible: Innovaciones en el diseño. *Arquitectura y Futuro*. 7 (2), 88-102.

Garusinghe, G. D. A. U., Perera, B. A. K. S., & Weerapperuma, U. S. (2023). Integrating circular economy principles in modular construction to enhance sustainability. *Sustainability*. 15(15), 11730.

Gómez, C. (2021). . (2021). Correlación entre sostenibilidad y vivienda modular. *Estudios Urbanos*, 16(3), 201–218.

Hernández, G., & Cruz, A. (2015). Estructuras de contenedores en arquitectura. *Arquitectura y Sociedad*. 13 (4), 99-115.

- Hikone, S., & Tokubuchi, M. . (2014). Temporary multi-storey container housing after the 2011 earthquake and tsunami. *Madrid Symposium Report.*, (págs. 102, 1699–1706.). Madrid.
- Hikone, S., & Tokubuchi, M. . (2014). Temporary multi-storey container housing after the 2011 earthquake and tsunami. ., (págs. 102, 1699–1706).
- Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T. . (2019). Cost comparison of shipping-container housing with conventional housing in Sri Lanka. . *International Journal of Construction Economics*, 8(2), 33–41.
- Ishan, J. R. P., De Silva, N., & Withanage, K. T. (2019). Use of shipping container housing concept as a low-cost housing solution for resettlement projects in urban areas. In *Proceedings. 8th World Construction Symposium*, (págs. (pp. 608–617)).
- Kysiak, A., & Szuba, B. (2023). (s.f.). Modular houses as a form of sustainable construction. . *Inżynier Budownictwa*, 5, 82–86.
- López, M. &. (2019). Potencial de las casas modulares de madera sostenibles. . *Revista Hábitat y Sociedad*, 9(1), 56–70.
- Martínez, P. (2016). Edificios de contenedores utilizados con fines residenciales. *Revista Arquitectura Contemporánea.*, 11(3), 200–215.
- Martínez-García, L. (2014). Turismo sostenible y arquitectura modular: Estudio de caso en alojamiento costero. *Revista de Turismo y Sociedad*, 15(2), 55–70.
- Medeiros, A., Silva, J., & Costa, R. (2024). Análisis energético de viviendas con contenedores marítimos. *Journal of Cleaner Production*, 2(1), 55–71.
- Minero, P. (2017). Uso de contenedores en proyectos mineros y habitacionales. . *Ingeniería y Construcción.* , 8(2), 23–34.
- Moussavi, P. C. (2025). Research trends in affordable modular housing. *Journal of Modular Construction Studies*, 2(1), 1–23.
- Mvubu, M. &. (2020). Assessing the feasibility of shipping container housing in South African low-cost housing projects. *Journal of Construction in Developing Countries*, 25(3), 45–63.
- Nepomuceno, M., Andrade, J., & Oliveira, L. (2013). Housing buildings with refurbished containers: a structural view. *Journal of Housing Studies*, 18(4), 321–33.
- Ostapska, K., et al. . (2024). Design for Disassembly: A systematic scoping review and research agenda for AEC. . *Sustainable Production and Consumption*, 50, 1–16.
- Pinilla-Melo, J., Aira-Zunzunegui, J. R., La Ferla, G., de la Prida, D., & Navacerrada, M. Á. (2025). Design of a shipping container-based home: Structural, thermal, and acoustic conditioning. *Buildings*. 15(17), 3127.
- Ramírez, F. (2018). Construcción ecológica: una revisión del estado del arte. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 10(2), 44–59.
- Sánchez, J., & Mora, D. (2021). Innovaciones en la vivienda modular en América Latina. *Construcción y Desarrollo*, 8(3), 122–139.
- Şener, S. M., & Torus, B. (2014). Container Post-Disaster Shelters (C-PoDS): A generative approach. . In *Proceedings of the*



27th eCAADe Conference, (págs. (pp. 599–604)).

Silva, C., & Costa, R. (2022). (2018). Uso de materiales en la envolvente de los edificios de 23 barrios de vivienda social. . *Energía y Edificación*, 19(2), 144–157.

Suo, H., Guan, X., Wu, S., & Fan, Z. (2023). Energy performance assessment of the container housing in subtropical region of China upon future climate scenarios. . *Energies*, 16(1), 503.

Tanque, J. (2018). Estudio técnico de contenedores aplicados a vivienda modular. . *Revista de Ingeniería Civil*, 12(3), 45–58.

Thompson, J. (2020). Laboratorios transportables en contenedores ISO. *Applied Engineering Review*, 33(1), 10–22.

Zhang, Y., & Liu, H. (2019). Investigación y desarrollo de edificios modulares prefabricados. 27(5), 300–315., 27(5), 300–315.