

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay**

ISSN en línea: 2789-3855, 2026

**Desempeño técnico y ambiental de bloques de
concreto convencionales y alternativos con residuos
industriales**

Technical and environmental performance of conventional and
alternative concrete blocks with industrial residues

Brandon Uriel Hernández García

he339802@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-4764-4244>
Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo
México

Humberto Iván Navarro Gómez

humberto_navarro@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>
Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo
Pachuca de Soto, Hidalgo – México

Jesús Emmanuel Cerón Carballo

jesus_ceronc@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2809-3387>
Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo
Pachuca de Soto, Hidalgo – México

Mauricio Guerrero Rodríguez

mgr@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-7364-4686>
Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo
Pachuca de Soto, Hidalgo – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i2.5812>

Artículo recibido: 30 de diciembre de 2025.
Aceptado para publicación: 05 de mayo de 2026.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos


LATAM

Revista Latinoamericana de
Ciencias Sociales y Humanidades

VOLUMEN VII

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i2.5812>

Desempeño técnico y ambiental de bloques de concreto convencionales y alternativos con residuos industriales

Technical and environmental performance of conventional and alternative concrete blocks with industrial residues

Brandon Uriel Hernández García

he339802@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-4764-4244>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

México

Humberto Iván Navarro Gómez¹

humberto_navarro@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Pachuca de Soto, Hidalgo – México

Jesús Emmanuel Cerón Carballo

jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2809-3387>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Pachuca de Soto, Hidalgo – México

Mauricio Guerrero Rodríguez

mgr@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-7364-4686>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Pachuca de Soto, Hidalgo – México

Artículo recibido: 30 de diciembre de 2025. Aceptado para publicación: 05 de mayo de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Se analizó el desempeño técnico y ambiental de bloques de concreto convencionales y alternativos elaborados con residuos industriales y materiales reciclados, con el fin de identificar qué familias materiales mostraron el mejor equilibrio entre resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y viabilidad técnico-ambiental para su posible aplicación constructiva. Metodológicamente, se construyó una matriz comparativa de evidencia experimental reciente, integrada a partir de estudios indexados publicados entre 2021 y 2025, y se clasificaron las formulaciones en categorías comparables: geopoliméricos, PET reciclado, residuos de construcción y demolición, caucho reciclado, residuos de origen vegetal y mezclas híbridas. El análisis mostró que los bloques de matriz activada alcalinamente y los formulados con agregados reciclados controlados alcanzaron el mejor equilibrio global de desempeño, mientras que las mezclas con PET ofrecieron ventajas en aligeramiento y potencial de circularidad, aunque con mayor variabilidad en la absorción y la resistencia. Se concluyó que el aprovechamiento de residuos en bloques de concreto es técnicamente viable, pero su idoneidad depende de la compatibilidad entre la matriz, el residuo, la dosificación y el uso previsto. El estudio aporta una sistematización analítica original útil para orientar decisiones técnicas, normativas y de transferencia tecnológica.


¹ Autor de correspondencia.

Palabras clave: bloques alternativos, concreto reciclado, economía circular, geo polímeros, residuos industriales

Abstract

This study analyzed the technical and environmental performance of conventional and alternative concrete blocks produced using industrial residues and recycled materials to identify which material families offered the best balance among compressive strength, water absorption, density, and technical-environmental viability for construction applications. Methodologically, a comparative analytical matrix was constructed from recent indexed experimental evidence published between 2021 and 2025, and the formulations were classified into comparable categories: geopolymers, recycled PET, construction and demolition waste, recycled rubber, agro-residues, and hybrid mixtures. The analysis showed that geopolymer blocks and blocks made with controlled recycled aggregates achieved the best overall performance balance, whereas PET-based mixtures offered advantages in weight reduction and circularity potential, although with greater variability in absorption and strength. It was concluded that the use of residues in concrete blocks is technically feasible, but its suitability depends on the compatibility among matrix, residue, mixture design, and intended application. The study provides an original analytical systematization that may support technical, regulatory, and technology-transfer decisions.

Keywords: alternative blocks, circular economy, geopolymers, industrial residues, recycled concrete

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Hernández García, B. U., Navarro Gómez, H. I., Cerón Carballo, J. E., & Guerrero Rodríguez, M. (2026). Desempeño técnico y ambiental de bloques de concreto convencionales y alternativos con residuos industriales. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 7 (2), 2365 – 2387. <https://doi.org/10.56712/latam.v7i2.5812>

INTRODUCCIÓN

La producción de materiales para la construcción enfrenta una presión creciente para reducir el consumo de recursos, la generación de residuos y las emisiones asociadas a los sistemas de cementación convencionales. En este contexto, la incorporación de residuos industriales, plásticos reciclados y de construcción y demolición en unidades de mampostería ha pasado de ser una línea experimental marginal a un campo activo de investigación aplicada, especialmente por su potencial para disminuir la extracción de agregados naturales y favorecer esquemas de economía circular en el sector del concreto. La transición no depende únicamente del aprovechamiento de un residuo, sino también de la capacidad del material resultante para mantener propiedades físicas y mecánicas compatibles con su uso constructivo.

Esta presión se intensifica en contextos de urbanización acelerada en América Latina, donde la expansión del entorno construido incrementa simultáneamente la demanda de materiales y la carga ambiental asociada a su producción (CNEP, 2023).

La evidencia reciente muestra que los bloques alternativos presentan comportamientos muy distintos según el tipo de residuo incorporado, la matriz cementante utilizada y la dosificación aplicada. En bloques de mampostería con agregados reciclados provenientes de demolición, se ha observado que sustituciones parciales bien controladas pueden mantener variaciones reducidas en la resistencia a la compresión y en la absorción de agua, al tiempo que disminuyen los impactos ambientales y el consumo de recursos naturales. De manera complementaria, formulaciones con mezclas de residuos de construcción reciclados, vidrio, madera y materiales cementantes suplementarios han mostrado reducciones importantes de la densidad, el costo y las emisiones de CO₂, conservando niveles de resistencia compatibles con aplicaciones residenciales tanto de carga como de no carga.

La sustitución con residuos de construcción y demolición no solo se ha estudiado en concretos generales, sino también directamente en bloques de mampostería, donde se ha documentado la incorporación conjunta de CDW y residuos minerales de minería, así como la integración de hojuelas de neumático en bloques cementicios con respuestas físico-mecánicas diferenciadas según la mezcla y el uso previsto (Bastos et al., 2021; Arreola-Sanchez et al., 2023)

Asimismo, la investigación reciente ha ampliado el campo a sistemas de mampostería con ligantes activados alcalinamente y agregados reciclados, así como a unidades no estructurales con PET y residuos minerales o de demolición. En mampostería con matriz activada alcalinamente y agregados reciclados, se ha reportado que la sustitución del cemento por ligantes activados alcalinamente puede mantener la resistencia a la compresión de prismas y mejorar el comportamiento a flexión y la adherencia en ciertas configuraciones.

Por otro lado, estudios sobre bloques o ladrillos con PET y agregados reciclados han mostrado reducciones de densidad y beneficios de reutilización material, aunque también advierten que el desempeño mecánico depende fuertemente del tamaño de partícula, el porcentaje de reemplazo y el tipo de agregado acompañante, por lo que no toda formulación es transferible a usos estructurales (Peisino et al., 2024; El-Metwally et al., 2023).

A pesar de estos avances, persisten tres problemas relevantes en la literatura.

El primero es la dispersión de criterios experimentales y de reporte, ya que no todos los estudios evalúan simultáneamente densidad, absorción, resistencia y viabilidad económica.

El segundo es la heterogeneidad conceptual, porque con frecuencia se denomina "sostenible" a cualquier bloque con residuo, aun cuando su disponibilidad, escalabilidad o desempeño a largo plazo no hayan sido demostrados.

El tercero es la dificultad para comparar resultados entre investigaciones con matrices, curados, porcentajes de reemplazo y finalidades de uso distintas.

Esta dispersión limita la toma de decisiones técnicas y normativas, sobre todo en contextos en los que se requiere seleccionar materiales con base en evidencia cuantificable y no solo en la intención ambiental.

La literatura también muestra que las unidades de mampostería con plástico reciclado no responden como una familia uniforme. En bloques portantes producidos con concreto verde y residuos plásticos, el comportamiento mecánico depende de la dosificación, del tratamiento del agregado y del control del proceso de moldeo, mientras que en piezas huecas ensamblables elaboradas enteramente con plástico reciclado, el interés se desplaza hacia la factibilidad constructiva, la repetibilidad geométrica y el desempeño del sistema sin mortero (Qasim et al., 2022; Ahmed & Ali, 2025). Además, esta heterogeneidad ha impedido construir esquemas comparativos homogéneos que permitan identificar, con base en evidencia sistematizada, qué familias de bloques alternativos presentan ventajas reales y cuáles solo muestran desempeños parciales o contextuales.

El problema no es únicamente la falta de estudios, sino la ausencia de un tratamiento analítico integrador que transforme los resultados dispersos en conocimiento técnico útil para la toma de decisiones. En este sentido, el presente artículo tuvo como objetivo construir y analizar una base comparativa de evidencia experimental reciente sobre bloques de concreto convencionales y alternativos elaborados con residuos industriales y materiales reciclados, con el fin de identificar qué familias materiales presentaron el mejor equilibrio entre resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y viabilidad técnico-ambiental.

En particular, se buscó sistematizar y contrastar los resultados sobre la resistencia a la compresión, la absorción de agua, la densidad y la viabilidad comparativa de formulaciones con PET reciclado, residuos de construcción y demolición, agregados reciclados, geopolímeros (con ligantes activados alcalinamente) y mezclas híbridas. Con ello, se pretendió aportar una base crítica para valorar qué alternativas mostraron mayor potencial de aplicación en ingeniería civil y construcción con criterios de circularidad y desempeño material.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque documental, comparativo y analítico, con orientación cuantitativa-descriptiva, a partir de la literatura científica indexada sobre bloques de concreto convencionales y bloques alternativos fabricados con residuos industriales, polímeros reciclados, residuos de construcción y demolición y sistemas cementantes de baja huella ambiental.

El propósito metodológico no fue únicamente recopilar antecedentes, sino comparar resultados experimentales reportados bajo variables comunes, con el fin de identificar tendencias de desempeño físico, mecánico y ambiental útiles para la ingeniería civil y la ciencia de materiales. Esta lógica comparativa es congruente con las buenas prácticas recientes de estudios documentales y de caso aplicados al campo de la construcción, donde la validez del análisis depende de la delimitación de criterios, la trazabilidad de las fuentes y la coherencia entre las variables y las conclusiones.

Alcance metodológico y lógica de comparación

El estudio se planteó como una investigación documental de síntesis comparativa, con la construcción de una base de datos propia, orientada al análisis multicriterio del desempeño de bloques de concreto convencionales y alternativos. A diferencia de una revisión narrativa convencional, se adoptó una lógica de sistematización con criterios explícitos de selección, exclusión, clasificación y extracción de variables.

Esta decisión respondió a la alta heterogeneidad de la literatura sobre bloques alternativos: distintos tipos de residuos, diferentes dosificaciones, normas de ensayo no siempre idénticas y diversidad de finalidades estructurales y no estructurales. Trabajos recientes han mostrado, justamente, que la comparación entre formulaciones sólo es útil cuando se conservan variables homogéneas y se distinguen claramente las condiciones de ensayo y el tipo de unidad evaluada.

En consecuencia, esta metodología se diseñó para responder a una pregunta central: qué tipos de bloques alternativos reportados en la literatura reciente muestran un mejor equilibrio entre resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y viabilidad técnico-ambiental frente al bloque convencional en donde, como punto de partida, se estableció como línea base de comparación el comportamiento del bloque de concreto convencional y se contrastó con los resultados de formulaciones con PET reciclado, agregados reciclados, residuos de construcción y demolición, geo polímeros y mezclas híbridas (Peisino et al., 2024; El-Metwally et al., 2023).

Fundamento analítico de variables y criterios de comparación

Dado que el manuscrito no desarrolló un marco teórico independiente, esta metodología incorpora un sustento conceptual mínimo para justificar la selección de variables. La resistencia a la compresión se consideró la variable mecánica principal porque sigue siendo el parámetro de aceptación más utilizado para unidades de mampostería y permite distinguir con claridad entre formulaciones con potencial estructural y formulaciones aptas sólo para usos no portantes. En el contexto mexicano, esta variable también conserva relevancia normativa para bloques y tabiques destinados a usos estructurales y no estructurales, conforme a la NMX-C-441-ONNCCE-2013 (ONNCCE, 2013).

La absorción de agua se integró porque refleja el grado de porosidad accesible y condiciona la durabilidad, el comportamiento higrotérmico y la susceptibilidad a la degradación por la humedad. La densidad se incluyó por su relación con el peso volumétrico, la facilidad de manejo, las cargas muertas y, en muchos casos, el desempeño térmico. La dimensión de viabilidad técnico-ambiental se consideró indispensable para evitar una lectura reducida del residuo como un simple "sustituto", incorporando, además, criterios de circularidad material, de factibilidad de dosificación y de posibilidad de transferencia al sector constructivo.

Estos criterios son consistentes con estudios recientes sobre bloques con mezclas de residuos, bloques de PET, bloques de agregados reciclados y unidades con ligantes activados alcalinamente, en los que la evaluación conjunta de propiedades físicas, mecánicas, ambientales e incluso económicas ha sido clave para identificar formulaciones viables.

Bajo esta lógica, el término "bloques alternativos" se adoptó preferentemente frente a "bloques sostenibles". La razón metodológica es que la sostenibilidad no puede darse por supuesta por el solo hecho de incorporar un residuo; requiere evidencia de desempeño, posibilidad de abastecimiento, compatibilidad de materiales y una reducción verificable de impactos o del consumo de materias primas.

En esta investigación, la comparación se estructuró primero en torno al desempeño experimental reportado y, sólo después, a las implicaciones de la circularidad y al potencial ambiental.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda documental se realizó en bases de datos y plataformas académicas con cobertura suficiente en ingeniería, materiales y construcción, priorizando la literatura indexada y arbitrada. Se establecieron como fuentes principales Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar, y se utilizó esta última únicamente como herramienta de apoyo para rastrear artículos indexados o localizar metadatos completos cuando la referencia aparecía inicialmente incompleta.

La estrategia de búsqueda combinó términos en inglés debido a su mayor rendimiento bibliográfico en el área, entre ellos: concrete block, masonry block, recycled aggregate block, PET concrete block, geopolymer masonry unit, construction and demolition waste block, alternative concrete block y circular concrete masonry.

La ventana temporal se restringió a 2021–2025, en consonancia con el criterio editorial establecido para este artículo.

La búsqueda se orientó específicamente a artículos experimentales o analíticos con resultados comparables, descartando trabajos puramente conceptuales, documentos sin arbitraje y revisiones sin datos útiles para la extracción de variables.

Esta delimitación metodológica es importante porque, a diferencia de la literatura sobre la circularidad en materiales de construcción, está discute los beneficios generales del reciclaje, pero no siempre reporta propiedades directamente utilizables para comparar bloques o unidades equivalentes.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron únicamente artículos que cumplieron simultáneamente con los siguientes criterios:

- Publicación entre 2021 y 2025.
- Arbitraje e indexación académica.
- Evaluación experimental o comparativa de bloques, unidades de mampostería o materiales cementantes directamente transferibles a bloques.
- Reporte de al menos una de las variables centrales del estudio: resistencia a compresión, absorción de agua, densidad o indicadores de viabilidad ambiental/técnica.
- Descripción suficiente de la composición del material, del tipo de residuo o de la sustitución efectuada.

Se excluyeron tesis, capítulos, memorias sin arbitraje, normas, informes institucionales, artículos sin datos utilizables, trabajos duplicados y estudios centrados en morteros o en concretos generales cuando no permitían inferir razonablemente sobre el comportamiento en unidades de mampostería. También se excluyeron publicaciones anteriores a 2021, incluso cuando fueran relevantes, para mantener la consistencia con el recorte temporal exigido para esta versión del manuscrito.

Unidad documental de análisis

La unidad de análisis fue cada artículo de investigación seleccionado. De cada uno se extrajeron metadatos y resultados técnicos. Los metadatos considerados fueron: autores, año, país o contexto del estudio, tipo de bloque o unidad, tipo de residuo o material alternativo incorporado, porcentaje de sustitución, matriz cementante o ligante, condiciones generales de curado y normas o métodos de ensayo reportados. Los resultados técnicos extraídos se organizaron en torno a las variables centrales del estudio: resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y, cuando el artículo lo permitía, indicadores complementarios como el costo, el impacto ambiental, la conductividad térmica o la factibilidad de uso.

Este criterio permitió comparar no solo valores absolutos, sino también tendencias por familia material, por ejemplo: bloques con agregados reciclados, bloques con PET, bloques de matriz activada alcalinamente y bloques con mezclas híbridas de varios residuos. Estudios recientes han mostrado que este tipo de agrupación es metodológicamente más robusta que una comparación indiscriminada de todas las formulaciones, porque evita colocar en el mismo nivel materiales con matrices, funciones y mecanismos de desempeño distintos.

Procedimiento de extracción y sistematización

La información se organizó en una matriz comparativa de extracción de datos elaborada para este estudio. Cada registro documental se codificó según: tipo de bloque, tipo de residuo, variable reportada, unidad de medida, intervalo o valor principal, observaciones metodológicas y compatibilidad con las variables definidas como centrales.

Cuando un artículo reportó varias dosificaciones, se registraron los valores del rango evaluado y se identificó la formulación de mejor desempeño, siempre que el propio estudio lo justificara con base experimental. Cuando los datos aparecieron en gráficas sin tabla numérica, solo se conservaron si el valor podía recuperarse con suficiente claridad; de lo contrario, el artículo se usó como apoyo cualitativo, pero no como base de comparación numérica.

La sistematización se realizó en dos niveles. En el primero, se agruparon los artículos por familia material para observar patrones internos. En el segundo, se contrastaron esas familias con el bloque convencional como línea de referencia.

Esta dualidad de análisis permitió identificar:

- Formulaciones que mejoraron una variable, pero perjudicaban otra.
- Formulaciones que proporcionaban un equilibrio razonable entre diversas propiedades.
- Formulaciones con relevancia ambiental, aunque todavía técnicamente restringidas.

Estudios recientes sobre bloques con residuos de construcción, plásticos reciclados o con ligantes activados alcalinamente muestran que el comportamiento no debe evaluarse con una sola variable aislada, sino mediante conjuntos de desempeño que capturen compensaciones entre densidad, resistencia, absorción de impacto ambiental.

Variables de análisis

Las variables principales del estudio fueron las siguientes:

Resistencia a la compresión: Variable mecánica central para comparar la capacidad portante reportada de los bloques y distinguir posibles usos estructurales y no estructurales.

Absorción de agua: Variable física asociada al comportamiento higroscópico y a la porosidad efectiva accesible, con incidencia directa en la durabilidad y la estabilidad frente a la humedad.

Densidad: Variable física útil para comparar el peso volumétrico, la compacidad relativa, el potencial de aligeramiento y los posibles efectos en el manejo y las cargas muertas.

Viabilidad técnico-ambiental: Variable de integración analítica construida a partir de la discusión del artículo fuente sobre el uso de residuos, el potencial de circularidad, la reducción de materias primas vírgenes y la factibilidad de la transferencia de material o de construcción. Cuando el artículo reportó costos, emisiones o impactos ambientales, estos elementos se incorporaron como apoyo comparativo, pero no se imponían cuando no existían.

Construcción de la matriz analítica y criterio de valoración comparativa

Con el fin de transformar la evidencia dispersa en información comparable, se construyó una matriz analítica original a partir de los artículos seleccionados. Cada estudio se codificó según el tipo de bloque, la naturaleza del residuo incorporado, el porcentaje de sustitución, la matriz cementante, el uso previsto y las variables reportadas.

Posteriormente, las formulaciones se agruparon en familias materiales comparables y se analizaron con base en cuatro ejes: desempeño mecánico, desempeño físico, viabilidad técnico-ambiental y potencial de aplicación constructiva.

Para evitar una lectura puramente descriptiva, la matriz no se limitó a recopilar valores, sino que permitió identificar patrones de convergencia y divergencia entre familias de bloques, reconocer compensaciones entre variables y establecer una interpretación comparativa propia del estudio.

De esta manera, el aporte metodológico no consistió solo en revisar la literatura, sino en estructurar un esquema analítico reproducible para valorar formulaciones alternativas de bloques de concreto a partir de evidencia experimental reciente. Los criterios y variables utilizados para estructurar dicha matriz comparativa se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1

Variables y criterios de análisis comparativo de bloques

Variable	Dimensión	Indicador de comparación	Referencia técnica o criterio
Resistencia a la compresión	Mecánica	MPa reportados por formulación	ASTM C140 / norma equivalente reportada por el estudio
Absorción de agua	Física	% de absorción reportado	ASTM C140, ASTM C642 o método equivalente reportado por el estudio
Densidad	Física	masa volumétrica o densidad aparente reportada	ASTM C140, ASTM C642 o método equivalente reportado por el estudio
Viabilidad técnico-ambiental	Analítica integradora	potencial de circularidad, disponibilidad del residuo, compatibilidad material y factibilidad de aplicación	Criterio analítico construido en esta investigación
Costo relativo de producción*	Económica complementaria	% respecto al bloque convencional, cuando fue reportado	Datos reportados por los autores

Nota: El costo relativo de producción se consideró una variable complementaria y no una variable central obligatoria, ya que no todos los estudios reportaron información económica homogénea.

Fuente: elaboración propia con base en la matriz comparativa construida para esta investigación.

Tratamiento de heterogeneidad y comparabilidad

Debido a que los estudios emplearon materiales, porcentajes de sustitución y condiciones experimentales distintos, la metodología no se planteó como un metaanálisis estadístico, sino como una comparación analítica estructurada. La heterogeneidad se trató mediante cuatro decisiones:

- Conservar sólo variables efectivamente comparables.
- Registrar el tipo de residuo y la matriz del bloque para evitar interpretaciones cruzadas imprecisas.
- Señalar explícitamente cuando un resultado correspondía a uso estructural, no estructural o de pavimento/bloque peatonal.

- Privilegiar la comparación por rangos y tendencias antes que por promedios forzados.

Esta elección es metodológicamente relevante, ya que la bibliografía más reciente abarca tanto bloques de mampostería tradicional que utilizan agregados reciclados como aquellos con un ligante activado alcalinamente, bloques ligeros fabricados con plástico reciclado y bloques de uso peatonal 100 % reciclados. A pesar de que todos estos materiales son comparables desde la perspectiva de la circularidad y la utilización de residuos, no siempre pueden considerarse iguales, como si pertenecieran a la misma categoría estructural.

Estrategia de análisis

El análisis se llevó a cabo en tres fases. La primera fase consistió en identificar y seleccionar artículos según los criterios establecidos. La segunda etapa se dedicó a la extracción y la organización de variables en la matriz de comparación. En la tercera fase, el enfoque se centró en la interpretación analítica, con la finalidad de determinar qué grupos de bloques alternativos presentaron el mejor equilibrio entre el rendimiento mecánico, el comportamiento físico y la viabilidad ambiental relativa.

Este enfoque fue intencionadamente conservador: cuando la información de un artículo resultó ambigua, no se realizó una sobre interpretación de los datos. Además, como parte del análisis, se identificaron vacíos recurrentes en la literatura: falta de uniformidad en los reportes de absorción o de densidad, ausencia de criterios normativos comunes y limitada integración entre el desempeño material y la factibilidad productiva. Precisamente por ello, esta metodología no se limitó a enumerar estudios, sino que estructuró la comparación en torno a variables comunes que permitieran una lectura crítica del estado de desarrollo actual de los bloques alternativos.

Consideraciones éticas y límites del estudio

El estudio se basó exclusivamente en fuentes académicas publicadas y disponibles para consulta, por lo que no involucró experimentación con seres humanos ni el manejo de datos sensibles. La principal limitación metodológica se debió a la heterogeneidad experimental entre los artículos, así como a la ausencia de un reporte completo de todas las variables en algunos de ellos. Sin embargo, esa limitación no invalida el análisis; más bien justifica la necesidad de una metodología comparativa explícita y prudente, como la que aquí se adopta.

RESULTADOS

El análisis comparativo de esta investigación permitió identificar patrones de desempeño distintos entre las principales familias de bloques alternativos evaluadas: con ligante activado alcalinamente, PET reciclado, residuos de construcción y demolición, caucho reciclado, residuos de origen vegetal y mezclas híbridas.

La sistematización de la evidencia mostró que estas familias no constituyen una categoría homogénea, sino un conjunto de formulaciones con respuestas distintas a las principales variables definidas en el estudio: resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y viabilidad técnico-ambiental. Antes de discutir los patrones de desempeño por familia de material, es importante aclarar el alcance analítico de los estudios que se integraron en la comparación.

La Tabla 2 indica qué variables fueron reportadas por los trabajos experimentales seleccionados, lo que permite identificar desde el principio la base empírica disponible para cada familia de bloques y evita atribuir una comparabilidad absoluta cuando la literatura sigue siendo desigual.

Tabla 2

Cobertura de variables reportadas en los estudios experimentales incluidos en la revisión

No.	Referencia	Tipo principal de formulación	Resistencia a la compresión	Absorción de agua	Densidad	Costo/viabilidad económica
1	Sharaky et al. (2021)	Concreto con agregados reciclados	Sí	Sí	No	No
2	Peisino et al. (2024)	Bloques con PET reciclado	Sí	Sí	Sí	No
3	Hameed et al. (2023)	Ladrillos/bloques con 100 % agregado reciclado	Sí	Sí	Sí	No
4	Abuowda et al. (2024)	Unidades de mampostería con base ligante activada alcalinamente con RCA	Sí	Sí	Sí	No
5	El-Metwally et al. (2023)	PET bricks con distintos agregados	Sí	Sí	Sí	No
6	Dafedar et al. (2024)	Bloques macizos con agregados reciclados	Sí	Sí	Sí	Sí
7	Kuoribo et al. (2024)	Bloques de concreto con residuos reciclados	Sí	Sí	Sí	Sí
8	El-Aidy et al. (2024)	Concreto con plástico reciclado	Sí	No	Sí	No
9	Abuowda et al. (2025)	Mampostería con base ligante activada alcalinamente con agregados reciclados	Sí	Sí	Sí	No
10	Hu et al. (2025)	Bloques con residuos de demolición	Sí	Sí	Sí	Sí
11	Gillani et al. (2025)	Bloques de mampostería con componentes reciclados	Sí	No	Sí	Sí
12	Jameel et al. (2025)	Bloques peatonales de matriz activada alcalinamente 100 % residuales	Sí	Sí	Sí	Sí
13	Dafedar et al. (2025)	Bloques durables con 100 % RCA	Sí	Sí	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia con base en la matriz comparativa de estudios experimentales seleccionados para esta investigación.

Como se observa, la resistencia a la compresión fue la variable con mayor recurrencia en la literatura revisada, mientras que la información económica y, en menor medida, la densidad y la absorción no siempre estuvieron disponibles simultáneamente.

Esta distribución desigual de variables explica por qué el análisis posterior se organizó en torno a tendencias comparativas y no como una equiparación rígida de todos los estudios.

En términos generales, el análisis evidenció tres tendencias principales.

La primera fue que los bloques de matriz activada alcalinamente y los elaborados con agregados reciclados controlados presentaron los desempeños mecánicos más competitivos entre los del conjunto analizado.

La segunda fue que las mezclas con PET reciclado ofrecieron ventajas claras de aligeramiento y valorización del material, aunque con una mayor dispersión en las respuestas mecánicas y higroscópicas.

La tercera fue que los bloques con residuos de origen vegetal y caucho reciclado mostraron mayor variabilidad y, en la mayoría de los casos, un comportamiento más adecuado para aplicaciones no estructurales o de cerramiento que para usos portantes convencionales.

La Tabla 3 resume los rangos comparativos identificados para la densidad, la absorción, la resistencia a la compresión y el costo relativo.

A partir de lo anterior, se observa que los bloques de matriz activada alcalinamente presentaron los valores más altos de resistencia. Además, se observaron absorciones relativamente bajas y costos similares a los del bloque convencional. Por otro lado, las formulaciones con PET reciclado mostraron una reducción constante de la densidad y de los costos, lo que podría resultar competitivo, aunque sus resistencias resultaban más variables. Esta ventaja de las formulaciones con ligante activado alcalinamente coincide con estudios recientes en unidades de mampostería de concreto. En esos estudios, incluso con agregados horribles de reciclaje, se alcanzaron niveles de resistencia que cumplen con los requisitos de las unidades portátiles (Abuowda et al., 2024).

Por su parte, las formulaciones con RCD mostraron desempeños intermedios, lo que las sitúa como una familia de especial interés por su equilibrio entre aprovechamiento residual, viabilidad de escalamiento y comportamiento físico-mecánico. La familia RCD resulta especialmente relevante porque, con porcentajes de sustitución moderados, puede conservar pérdidas mecánicas reducidas y mejorar simultáneamente la lectura ambiental del bloque (Hu et al., 2025; Dafedar et al., 2024).

Tabla 3

Comparación promedio de propiedades técnicas y económicas de bloques analizados

Tipo de bloque	Densidad (g/cm ³)	Absorción (%)	Compresión (MPa)	Costo relativo
Tradicional (base)	2.0–2.2	5–8	8–11	100 %
Matriz activada alcalinamente (base geopolimérica)	1.9–2.2	4–7	10–13	90–105 %
PET reciclado	1.5–1.8	6–10	7–9	80–90 %
RCD	1.8–2.0	7–9	7–10	85–95 %
Caucho reciclado	1.6–1.9	8–12	6–8	85–92 %
subproductos agroindustriales o residuos de origen vegetal	1.4–1.7	12–18	4–7	75–85 %
Mezcla híbrida	1.7–2.0	6–9	8–11	80–100 %

Fuente: elaboración propia con base en la matriz comparativa construida en esta investigación a partir de estudios indexados publicados entre 2021 y 2025.

A fin de aislar la variable mecánica principal y facilitar una lectura más directa de la aplicabilidad potencial de cada familia de materiales, la Tabla 4 resume el intervalo comparativo de resistencia a la compresión y su interpretación técnica general.

Tabla 4

Síntesis comparativa de resistencia a la compresión y lectura de aplicabilidad por familia de bloques

Tipo de bloque	Intervalo de resistencia a la compresión (MPa)	Lectura comparativa de aplicabilidad
convencional (referencia)	8-11	Desempeño base de comparación
de matriz activada alcalinamente	10-13	Mayor competitividad mecánica y buen equilibrio físico
PET reciclado	7-9	Viable en formulaciones seleccionadas; útil por aligeramiento y circularidad
residuos de construcción y demolición (RCD)	7-10	Desempeño intermedio-alto con buena factibilidad de escalamiento
caucho reciclado	6-8	Aplicación preferente en usos no estructurales o con exigencia moderada
subproductos agroindustriales o residuos de origen vegetal	4-7	Aplicación limitada; requiere optimización adicional
mezclas híbridas	8-11	Comportamiento dependiente de la compatibilidad entre residuos y matriz

Fuente: elaboración propia con base en la matriz comparativa elaborada a partir de estudios indexados publicados entre 2021 y 2025.

Esta síntesis muestra que las familias con ligante activado alcalinamente y las hechas con agregados reciclados controlados presentaron los mejores desempeños en capacidad resistente. En cambio, las formulaciones con PET, caucho y residuos de origen vegetal dependen más de la dosificación, de la compatibilidad de los materiales y del uso final previsto. En el caso de las formulaciones mixtas con CDW y caucho, sé que observar la incorporación simultánea de residuos de distintos tipos altera el comportamiento del bloque de forma no lineal. Esto confirma que la evaluación de materiales por familias debe complementarse con un análisis específico de la compatibilidad entre componentes (Arreola-Sánchez et al., 2023).

Esta lectura también es congruente con estudios sobre mampostería fabricada con 100 % de agregado reciclado, en los que el desempeño depende más del control del material de origen y de la mezcla que de la imposibilidad intrínseca del reciclaje (Hameed et al., 2023). La evidencia más reciente refuerza esta tendencia al mostrar que la calidad del concreto progenitor del agregado reciclado influye directamente en el desempeño final de los ladrillos o bloques RAC, de modo que el origen del residuo no debe tratarse como una variable secundaria dentro del análisis comparativo (Hameed et al., 2025)

En contraste, los bloques con residuos de productos agroindustriales registraron las mayores absorciones y los menores intervalos de resistencia dentro del conjunto comparado, lo que sugiere que su incorporación aún depende de ajustes de formulación, estabilización o combinación con otros componentes cementantes para aspirar a aplicaciones estructurales.

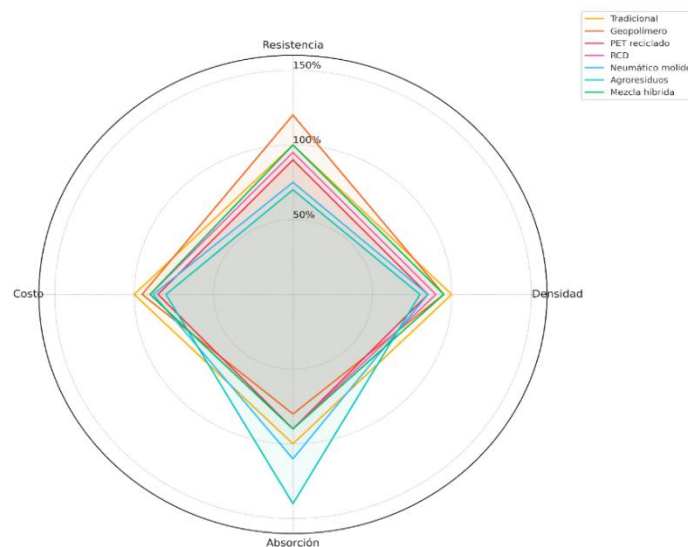
En el caso de formulaciones mixtas con CDW y caucho, también se ha observado que la incorporación simultánea de residuos de naturalezas distintas modifica el comportamiento del bloque de manera no lineal, lo que confirma que la evaluación por familias materiales debe complementarse con una lectura específica de la compatibilidad entre componentes (Arreola-Sánchez et al., 2023).

Los bloques de caucho reciclado demostraron un comportamiento de absorción más estable que el de los hechos con residuos de origen vegetal, es decir, de origen agroindustrial. Sin embargo, mostró una disminución más significativa de la resistencia cuando el nivel de sustitución afectó la continuidad de la matriz de cemento o la adherencia de las interfaces. Esta diferencia entre las familias confirma que el uso de residuos no puede evaluarse como una única categoría tecnológica. En cambio, debe considerarlas como formulaciones con mecanismos materiales distintos y ventajas y limitaciones específicas.

La Figura 1 resume esta comparación y muestra que la elección de un bloque alternativo no puede basarse en una sola variable. Las familias con mayor resistencia no siempre fueron las más rentables en términos de costo o densidad. Además, las formulaciones más ligeras no siempre mantuvieron un desempeño mecánico adecuado para usos estructurales. La figura respalda la idea principal del estudio: el mejor comportamiento depende de un equilibrio entre varios criterios, no de la maximización de una sola propiedad.

Figura 1

Comparación multicriterio del desempeño relativo de bloques alternativos frente al bloque convencional



Nota: Valores normalizados respecto al bloque tradicional, considerando la resistencia a la compresión, la densidad, la absorción de agua y el costo relativo.

Fuente: elaboración propia con base en la matriz comparativa construida en esta investigación a partir de estudios indexados publicados entre 2021 y 2025.

Con base en la matriz analítica construida, la Tabla 5 permite ordenar las familias de bloques según una lectura integrada de desempeño. En ella se aprecia que los bloques con matriz activada alcalinamente y los bloques con RCD ocuparon las posiciones más consistentes en términos de resistencia, absorción y aplicabilidad, aunque por razones distintas: los primeros por su desempeño técnico más robusto y los segundos por su equilibrio entre factibilidad productiva, circularidad y respuesta del material.

Las formulaciones con PET reciclado se ubicaron en una posición intermedia-alta debido a sus ventajas de aligeramiento y al potencial de valorización residual, aunque con restricciones más visibles en la absorción y en la uniformidad mecánica. Por su parte, las familias con residuos de origen vegetal y las de caucho reciclado se ubicaron en niveles más limitados para usos estructurales, pero conservaron interés en soluciones no portantes o en contextos donde el peso propio, el aislamiento o la gestión de residuos sean prioritarios.

Tabla 5

Matriz multicriterio de desempeño y aplicabilidad

Tipo de bloque	Resistencia	Absorción	Costo	Transferibilidad tecnológica
tradicional (base)	✓	✓	X	✓
base activada alcalinamente	✓	✓	△	△
PET reciclado	△	△	✓	✓
RCD	✓	✓	✓	✓
caucho reciclado	△	△	✓	△
residuos agroindustriales	X	X	✓	△
mezcla híbrida	✓	✓	✓	✓

Nota: Leyenda: ✓ = desempeño favorable o destacado; △ = aceptable con restricciones; X = desempeño limitado o que requiere mejoras.

Fuente: elaboración propia con base en el análisis multicriterio derivado de la matriz comparativa construida en esta investigación a partir de estudios indexados publicados entre 2021 y 2025.

En conjunto, los resultados indican que el mejor desempeño técnico-ambiental no correspondió a una sola formulación universal, sino a familias materiales que respondieron de manera distinta según la variable considerada. Por ello, la principal aportación de esta sección no es proponer un único "bloque ideal", sino mostrar que la evidencia reciente permite distinguir grupos con mayor potencial estructural, mayor potencial de circularidad y mayor conveniencia para usos no estructurales. Esta diferenciación constituye la base analítica necesaria para una discusión crítica más precisa y útil en la ingeniería civil, la ciencia de materiales y la toma de decisiones normativas.

DISCUSIÓN

Al sistematizar este cuerpo de evidencia, los hallazgos de este estudio demuestran que los bloques alternativos no son de un solo tipo ni presentan la misma composición de residuos. Se demostró que, según la retroalimentación de una etapa específica de evaluación del rendimiento, el rendimiento está relacionado con la combinación de tipo de residuo, material de cementación, cantidad, absorción de agua, densidad y propósito previsto.

Con respecto a esta aplicación, los resultados obtenidos están de acuerdo con la literatura, que reportó comportamientos diferenciados de bloques que comprenden agregados reciclados, geopolímeros, PET y mezclas de residuos complejas, lo que implica que la viabilidad tecnológica puede lograrse si las propiedades mecánicas y físicas se verifican al unísono.

Específicamente, las investigaciones de Kuoribo et al. (2024) y Hu et al. (2025) apoyan esta interpretación, ya que indican que la reutilización de residuos en la construcción de bloques de concreto

permite un menor costo, una mayor densidad y un mejor desempeño ambiental a diferentes escalas, y que esto depende de la composición y la función de una unidad de construcción. Uno de los primeros puntos es el comportamiento de los bloques cuya matriz está activada alcalinamente. Una familia de ellos presenta la mayor resistencia relativa en el manuscrito de los autores, lo cual es consistente con investigaciones recientes sobre unidades de mampostería basadas en geopolímeros.

Abuowda et al. (2024) mostraron que el uso de un aglutinante activado alcalinamente (geopolímero) integrado con agregados reciclados puede lograr la densidad y absorción deseadas, si la sustitución se controla suficientemente, también puede proporcionar formulaciones óptimas para ser utilizadas con sistemas de carga. De manera similar, en otro artículo, estos mismos autores indicaron que los prismas de mampostería, utilizando una matriz activada alcalinamente y agregados reciclados, influyen directamente en la resistencia a la compresión, la adhesión, así como en la respuesta a la flexión y al corte de la unidad.

En las formulaciones de desechos plásticos y geopolímeros, investigaciones recientes indican que la viabilidad mecánica no solo está relacionada con la fracción de polímero añadido, sino también con el método de compactación aplicado y la presión, así como con la condición de mezcla del aglutinante, de los desechos y del agregado fino.

Esto explica la dispersión observada entre las familias que incluyen PET y las familias de compuestos de mezcla híbrida (Sawant et al., 2025; Kaewpikul et al., 2025). También se incluyen en esta línea de trabajo componentes de concreto presurizado con desechos de PVC y adoquines reforzados con fibra en mezclas geopoliméricas, lo que amplía su aplicación a elementos prefabricados, para los cuales la controlabilidad de la compactación y la consistencia dimensional son vitales (Kaewpikul et al., 2025; Sawant et al., 2025).

Se han descrito ciertos sistemas de bloques o unidades prensadas en los que la aplicación de matrices activadas alcalinamente, en combinación con desechos plásticos, puede ser útil para reducir la pérdida de peso; sin embargo, la resistencia puede reducirse significativamente al ajustar la dosificación, pero no como forma de mantener la resistencia deseada (Kaewpikul et al., 2025; Sawant et al., 2025).

De manera similar, Jameel et al. (2025) confirmaron que los bloques peatonales con aglutinantes activados alcalinamente o poliméricos construidos a partir de materiales residuales al 100% aún mantuvieron el rendimiento completo según lo planeado, aunque la adición de plástico provocó una disminución restringida de la resistencia.

Estos resultados implican que los aglutinantes activados alcalinamente son aplicables tanto a preocupaciones ambientales como a la generación de unidades técnicamente competitivas en una formulación de producto adecuadamente diseñada.

Respecto a los bloques basados en desechos de construcción y demolición. Se encontró que esta familia era una de las más uniformes en la investigación actual, en particular por su combinación de resistencia aceptable, densidad moderada y potencial de escalabilidad productiva. La conclusión de Dafedar et al. (2024) es, por lo tanto, consistente con esta interpretación, según la cual se encontraron viabilidad técnica y beneficios de sostenibilidad en bloques sólidos elaborados con agregados de concreto reciclado que cumplieron con los criterios estructurales.

Desde 2010, el mismo grupo ha extendido esta línea utilizando agregados de concreto 100% reciclados en bloques sólidos, duraderos, con relaciones cemento/agregado más altas, de modo que el problema no es el RCD utilizado en sí mismo, sino el control de calidad, la absorción y el porcentaje controlado en la mezcla.

Esta línea de trabajo también ha incluido nuevas investigaciones que diferencian explícitamente el efecto del material fuente y la calidad del residuo reciclado sobre el comportamiento mecánico final de las unidades (Hameed et al., 2025). Incluso la posibilidad de fabricar bloques sólidos duraderos con 100% de agregado reciclado ha comenzado a documentarse en condiciones de diseño controladas, lo que fortalece el argumento de que dicha sustitución de material es insuficiente por sí sola para promover un control de calidad efectivo y la dosificación (Dafedar et al., 2025).

También se han reportado ejemplos de producción de bloques que involucran RCD y residuos minerales, lo que muestra que la valorización de residuos no se limita al agregado reciclado, sino que depende más de la estabilidad granulométrica y del control de la mezcla (Bastos et al., 2021). Además, Gillani et al. (2025) encontraron que la adición de RCD junto con cenizas volantes y fibras residuales a los bloques de mampostería puede mejorar la resiliencia e incluso reducir las cargas ambientales, a pesar de la pérdida inicial de resistencia de la mampostería. Eso importa, porque cambia la conversación de una lógica binaria –“funciona o no funciona”– a una lógica de optimización de la mezcla y paridad de propiedades.

La familia PET también merece un tratamiento más detallado. Se argumenta en este manuscrito que el PET es la mejor opción por factores de aligeramiento y costo, pero la comparación sugiere que su mayor ventaja es la reducción de la densidad y el potencial de valorización de los residuos, en contraste con la adición uniforme de resistencia. Esa interpretación parece consistente con la de El-Aidy et al. (2024) quienes informaron que el reciclaje de concreto con plástico resultó en una alteración beneficiosa de algunas propiedades físicas, pero esto no debe usarse indiscriminadamente para debilitar la respuesta mecánica.

En una segunda línea de investigación, Peisino et al. (2024) informaron sobre piezas que incluían PET y diferentes tipos de agregados, y encontraron que la resolución sólo está determinada por la interacción polímero-agregado. Como resultado, el estudio demuestra que el PET no puede promoverse como una mejora mecánica general, sino más bien como un elemento esencial en formulaciones en las que el aligeramiento, la circularidad y algunas aplicaciones no estructurales son objetivos específicos.

El residuo plastificado se ha estimado en la mezcla cementicia con nanomodificación o en combinación con un aditivo, y algunos resultados confirmaron mejoras específicas en determinados parámetros, pero no eliminaron la dependencia crítica de la dosificación y de la interacción matriz-residuo (Ghani et al., 2024; Du & Korjajins, 2023).

En contraste, los bloques con residuos de origen vegetal o con caucho reciclado solo mostraron una tendencia ligeramente restringida. El aumento de la absorción y la menor resistencia mecánica en estos grupos están en línea con la literatura reciente sobre materiales que contienen residuos más ligeros o deformables, donde el beneficio ambiental no es directamente equivalente, en términos de respuesta mecánica, a los bloques convencionales.

Incluso en estudios más generales sobre concretos con caucho, la tendencia dominante sigue siendo una reducción de la resistencia a medida que aumentan las sustituciones, salvo cuando el material se orienta a propiedades funcionales específicas, como el amortiguamiento, el impacto o el aislamiento.

Esto obliga a una discusión más rigurosa: no toda formulación ambientalmente atractiva es apta para usos estructurales, y precisamente por eso el concepto de "bloques alternativos" resulta metodológicamente más correcto que "bloques sostenibles" como etiqueta automática.

Otro aspecto relevante es la comparación multicriterio. La Tabla 5 no debe leerse como una simple jerarquía visual, sino como la síntesis de una decisión metodológica: evaluar los bloques según la combinación de variables y no por una sola propiedad.

Esto es consistente con la dirección reciente de la investigación internacional, donde se insiste en que la valoración de unidades alternativas debe integrar resistencia, absorción, densidad, factibilidad de aplicación e incluso el costo o la huella ambiental.

El estudio de Bawab et al. (2025) resulta particularmente útil en este punto, ya que muestra que los bloques de mampostería con residuos industriales alcalinos pueden optimizar simultáneamente la absorción, la compresión y el secuestro de carbono en diseños experimentales controlados. De forma similar, Kuoribo et al. (2024) destacan que los bloques producidos con mezclas de residuos solo pueden considerarse materiales circulares cerrados cuando cumplen simultáneamente los criterios económicos, ambientales y técnicos.

El enfoque multicriterio adoptado en este artículo no es un recurso estético, sino una necesidad metodológica para evitar conclusiones simplistas. En el contexto mexicano, esta discusión también resulta pertinente para alternativas constructivas de bajo impacto y para vivienda de interés social, donde ya existen antecedentes institucionales sobre materiales alternativos y soluciones habitacionales adaptadas a las condiciones locales (CENAPRED, 2018).

La discusión también tiene implicaciones normativas. El archivo actual reconoce correctamente que muchas de las pruebas reportadas en la literatura se basan en ASTM C140, ASTM C642 o en métodos equivalentes, pero el problema no es solo la ausencia de ensayos, sino también la falta de marcos normativos específicos para familias de bloques con residuos. En este sentido, el análisis debe dialogar con la NMX-C-441-ONNCCE 2013, ya que esta norma constituye una referencia nacional directa para las especificaciones y los métodos de prueba de bloques y tabiques (ONNCCE, 2013).

Desde la perspectiva de la aplicabilidad constructiva, la discusión no debe limitarse a la resistencia unitaria del bloque. En sistemas ensamblables o de mampostería sin mortero, la geometría de la pieza, la respuesta de la junta y el comportamiento del sistema completo también condicionan la transferibilidad tecnológica, como se ha mostrado en estudios recientes sobre bloques plásticos Inter trabados y mampostería de bloques sin mortero reforzada (Ahmed & Ali, 2025; Zahra et al., 2023).

La evidencia reciente sobre bloques con agregados reciclados y con base ligante activada alcalinamente sugiere que varias formulaciones ya alcanzan rangos técnicamente aceptables, pero todavía carecen de suficiente validación estandarizada para su adopción extendida.

Esto explica por qué algunos materiales muestran un potencial claro en el laboratorio, pero una transferencia tecnológica lenta. Desde esta perspectiva, la discusión debe subrayar que el obstáculo no es únicamente técnico, sino también regulatorio y productivo.

El análisis desarrollado en esta investigación permite sostener que el mejor bloque alternativo no es una formulación universal, sino aquella cuya combinación de propiedades responde al uso previsto, a la disponibilidad local del residuo y a la capacidad de control del proceso productivo.

Esta conclusión es coherente con el comportamiento observado en la propia matriz comparativa: geopolímeros y RCD controlados destacan para usos con mayor exigencia mecánica; el PET muestra ventajas más claras en ligereza y circularidad; y los residuos de origen vegetal o con caucho reciclado requieren aún optimización o focalización en aplicaciones no estructurales.

En otras palabras, el valor del estudio no radica en proclamar una sola solución ideal, sino en delimitar con mayor precisión qué familias presentan ventajas reales, cuáles operan bajo compensaciones más fuertes y cuáles todavía se encuentran en una etapa de maduración tecnológica.

Limitaciones del estudio

El presente estudio presentó limitaciones que deben señalarse con claridad para comprender mejor sus hallazgos. La primera fue la diversidad de métodos empleados en los artículos analizados. No todos evaluaron las mismas variables bajo las mismas condiciones de curado, dosificación, tamaño de partículas, porcentaje de sustitución o normas de ensayo. Esta variedad impidió realizar comparaciones totalmente homogéneas entre todas las familias de bloques. Se optó por un análisis de tendencias y rangos, en lugar de una síntesis estadística estricta.

La segunda limitación fue la desigual disponibilidad de la información reportada. Aunque la revisión se centró en la resistencia a la compresión, la absorción de agua, la densidad y la viabilidad técnico-ambiental, no todos los estudios ofrecieron simultáneamente estos cuatro componentes. En varios casos, la literatura proporcionó resultados mecánicos suficientes, pero faltó información económica, ambiental o sobre la durabilidad. Esto limitó la comparabilidad integral de ciertas formulaciones.

La tercera limitación fue la falta de criterios normativos específicos para los bloques alternativos en gran parte de la literatura revisada. Muchos estudios usaron métodos aplicables al concreto o a unidades convencionales, pero no siempre funcionales, discutieron en detalle la equivalencia de esos criterios en materiales activados alcalinamente, que contienen residuos plásticos o de origen vegetal, o en mezclas híbridas. Esto indica que algunos resultados técnicamente prometedores todavía requieren más validación para su aplicación regulatoria y de producción.

La cuarta limitación se relaciona con el alcance documental del estudio. La investigación no incluyó ensayos experimentales propios, pruebas de validación en campo ni seguimiento del comportamiento de los bloques a gran escala en condiciones de servicio prolongadas. Por esta razón, las conclusiones deben considerarse una sistematización crítica de la evidencia experimental reciente, y no una garantía del desempeño en cualquier contexto de construcción.

Por último, hay que reconocer que la viabilidad de cada familia de bloques también depende de factores que van más allá de lo reportado por muchos artículos. Estos incluyen la disponibilidad local del residuo, la infraestructura para su acopio y procesamiento, la estabilidad del suministro, la aceptación del mercado y la existencia de cadenas productivas viables.

Por lo tanto, el estudio ayuda a identificar familias con mayor potencial técnico-ambiental, pero no reemplaza los análisis locales de factibilidad, normalización y escalamiento necesarios antes de una adopción generalizada.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo realizado en esta investigación llevó a la conclusión de que los bloques de hechos concretos, elaborados con materiales alternativos y residuos industriales, constituyen una opción técnica viable. Sin embargo, su conveniencia no puede determinarse únicamente por la inclusión de un residuo.

La evidencia estudiada mostró que el rendimiento depende de la interacción entre la matriz cementante, el tipo de residuo, la dosificación, la porosidad resultante, el control del proceso de fabricación y el uso previsto de la unidad.

En general, los bloques con mejor equilibrio entre resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y posibilidad de aplicación fueron los de ligante activado con alcalinos y los formulados con residuos de construcción y demolición controlados. Los primeros se destacaron por su alta resistencia y su buen comportamiento físico. Los segundos mostraron una combinación notable de rendimiento técnico, circularidad de materiales y potencial para escalar la producción, especialmente en áreas urbanas con disponibilidad de residuos minerales reciclables.

Los bloques fabricados con PET reciclado mostraron una contribución significativa al aligeramiento y la valorización de residuos, con rendimientos aceptables en varias formulaciones. Sin embargo, su comportamiento fue más variable que el de los bloques anteriores, especialmente en cuanto a absorción y resistencia. Así, su principal ventaja no fue una mejora mecánica general, sino su potencial para aplicaciones en las que la reducción de peso, la circularidad y los usos no estructurales o de exigencia moderada son prioritarios. Por otro lado, los bloques hechos de residuos vegetales y los que contienen caucho reciclado mostraron limitaciones técnicas mayores, principalmente por una absorción mayor o por reducciones más marcadas en la resistencia, cuando el porcentaje de sustitución afectó la continuidad y la adherencia de la matriz.

Por lo tanto, aunque estas formulaciones son ambientalmente interesantes y pueden ser útiles en soluciones específicas, la evidencia indica que, en su estado actual, requieren optimización adicional para aspirar a aplicaciones estructurales convencionales.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio confirma que la comparación entre bloques alternativos requiere un enfoque basado en múltiples criterios. Evaluar una formulación solo por su resistencia, su bajo costo o su contenido reciclado conduce a conclusiones incompletas.

La principal aportación de este trabajo fue organizar una lectura comparativa que distingue entre familias con mayor potencial estructural, familias con mayor potencial de circularidad y familias cuya aplicación es más relevante para usos no portantes o complementarios.

En resumen, no existe un único bloque alternativo universalmente superior. La elección más adecuada dependerá del nivel de exigencia mecánica, de la disponibilidad y estabilidad del residuo, de la compatibilidad entre materiales, de la capacidad para controlar el proceso de producción y del marco normativo correspondiente.

A pesar de estas reservas, la evidencia reciente muestra que varias formulaciones ya han avanzado más allá de la mera experimentación preliminar y ofrecen bases suficientes para avanzar hacia procesos más sólidos de validación, normalización y transferencia tecnológica en la construcción moderna.

RECOMENDACIONES

A partir del análisis técnico y documental realizado, se plantean las siguientes recomendaciones para mejorar el desarrollo, la adopción y la regulación de bloques sostenibles en contextos constructivos reales:

Desarrollo de normativas específicas: Es necesario avanzar en la creación de normas técnicas, tanto a nivel nacional como internacional, que incluya los bloques fabricados con materiales alternativos. Esto permitirá su evaluación formal, su inclusión en licitaciones públicas y su validación estructural en proyectos de vivienda, de infraestructura y de equipamiento social.

Promoción de estudios experimentales integrales: Es esencial llevar a cabo investigaciones que incluyan pruebas físicas, mecánicas, térmicas, de durabilidad y de comportamiento frente a agentes

químicos y biológicos. La mayoría de los estudios revisados se centran en una o dos variables, lo que limita la comprensión del comportamiento completo de los bloques alternativos.

Impulso a la transferencia tecnológica local: Las universidades, centros de investigación y gobiernos locales pueden desempeñar un papel clave en la creación de microplantas o unidades de producción piloto que se integran a cooperativas, constructoras sociales o programas de vivienda sustentable. Se sugiere priorizar los bloques cuya fabricación no requiere procesos complejos ni materiales difíciles de obtener. Su adopción puede vincularse con catálogos y soluciones habitacionales sustentables orientadas a contextos de vivienda social y de autoconstrucción asistida (SEDESOL, 2017).

Fomento de sistemas híbridos: En lugar de buscar sustituciones absolutas del bloque convencional, se sugiere explorar soluciones intermedias, como bloques mixtos (cemento + PET, cemento + subproductos agroindustriales), que mantengan niveles adecuados de desempeño y reduzcan la huella ambiental. Estas fórmulas ofrecen ventajas escalables y adaptativas en distintos contextos climáticos y económicos.

Consideración del contexto geográfico y socioeconómico: Las decisiones sobre qué tipo de bloque utilizar deben basarse en criterios de proximidad de insumos, capacidades productivas locales y necesidades específicas del entorno construido. Lo que resulta viable en zonas urbanas densas con acceso a residuos industriales puede no serlo en regiones rurales sin infraestructura adecuada.

Incentivar políticas públicas y mecanismos de financiamiento: Se recomienda que programas de vivienda social, reconstrucción post-desastre y subsidios a la edificación verde incluyan incentivos para materiales sostenibles. Esto incluye exenciones fiscales, financiamiento preferente o certificaciones ambientales que acrediten el uso de bloques alternativos. Esta orientación es coherente con los lineamientos nacionales para la producción de vivienda social, con criterios de sostenibilidad, promovidos por el SEDATU (2021).

Sistematización de bases de datos abiertas: Es fundamental establecer plataformas abiertas que consoliden y clasifiquen los resultados de ensayos sobre materiales alternativos. Esto facilitará el acceso a la información técnica, evitará la duplicación de estudios y acelerará la innovación en el diseño y la fabricación.

REFERENCIAS

Abuowda, E., El-Hassan, H., & El-Maaddawy, T. (2025). Evaluating the synergic use of geopolymers and recycled aggregates in masonry wall construction. *Journal of Building Engineering*, 112, 113684. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113684>

Abuowda, E., El-Hassan, H., & El-Maaddawy, T. (2024). Synergistic impact of geopolymer binder and recycled coarse aggregates on the performance of concrete masonry units. *Cleaner Materials*, 12, 100272. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100272>

Ahmed, S., & Ali, M. (2025). Development and engineering evaluation of interlocking hollow blocks made of recycled plastic for mortar-free housing. *Buildings*, 15(17), 2996. <https://doi.org/10.3390/buildings15172996>

Arreola-Sánchez, M., Martínez-Molina, W., Chávez-García, H. L., Navarrete-Seras, M. A., Borrego-Pérez, J. A., Velásquez-Pérez, J. A., Ruiz-Ruiz, R., Cervantes-Servín, A. I., Pelagio-Chávez, A., & Alonso-Guzmán, E. M. (2023). Physical-mechanical behavior of CDW and tire-flake integration in building-block manufacturing. *Sustainability*, 15(21), 15418.

<https://doi.org/10.3390/su152115418>

Bastos, F., Cabral, A., Alcântara, P., & Maia, L. (2021). Study case about the production of masonry concrete blocks with CDW and kaolin mining waste. *AIMS Materials Science*, 8(6), 990–1004. <https://doi.org/10.3934/matricsci.2021060>

Bawab, J., El-Hassan, H., El-Dieb, A., & Khatib, J. (2025). Optimizing carbon sequestration and performance of concrete masonry blocks containing alkaline industrial waste. *Cleaner Engineering and Technology*, 24, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.100943>

CENAPRED. (2018). *Manual de construcción de viviendas con materiales alternativos*. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CNEP (Centro Nacional de Evaluación de Políticas). (2023). *Informe sobre el crecimiento urbano y el impacto ambiental en América Latina*. CNEP Documentos Técnicos.

Dafedar, M. M. M., Rao, K. B., Pai, B. H. V., & Bekkeri, G. B. (2025). Viability of using 100% of recycled concrete aggregates for durable solid masonry blocks. *Emergent Materials*. <https://doi.org/10.1007/s42247-025-01194-6>

Dafedar, M. M. M., Rao, K. Balakrishna, Pai, B. H. V., & Bekkeri, G. B. (2024). Evaluation of the engineering properties and sustainability of solid masonry blocks produced with recycled concrete aggregates. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 449. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01720-1>

Du, Y., & Korjakins, A. (2023). Synergic effects of nano additives on mechanical performance and microstructure of lightweight cement mortar. *Applied Sciences*, 13(8), 5130. <https://doi.org/10.3390/app13085130>

El-Aidy, K. E., Ellithy, M., Mahmoud, M. H., & El-Shafiey, T. F. (2024). Mechanical and physical properties of eco-friendly recycled plastic concrete (RPC). *Journal of Building Engineering*, 97, 110907. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110907>

El-Metwally, Y., Dewidar, K., Ismail, M., & El-Mahallawi, I. (2023). Optimization of plastic waste integration in cement bricks. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70, 55. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00229-1>

Gillani, S. T. A., Hu, K., Tariq, J., Chen, D., & Zhang, W. (2025). From waste to resource: An in-depth analysis of environmental sustainability in concrete masonry utilizing recycled components. *Construction and Building Materials*, 489, 142287.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142287>

Hameed, R., Al-Soudani, M., Al Amlı, A. S., Ali, H., Shahzad, S., & Asif Hameed. (2025). Impact of parent concrete strength of recycled aggregates on the mechanical performance of RAC bricks. *Revista de la Construcción*, 24(2), 505–532. <https://doi.org/10.7764/RDLC.24.2.505>

Hameed, R., Imran, M., Shahzad, S., Hassan, M. I., Khadija, & Arshad, E. (2023). Mechanical performance of 100% recycled aggregate concrete (RAC) bricks. *Revista de la Construcción*, 22(1), 203–222. <https://doi.org/10.7764/RDLC.22.1.203>

Hu, K., Gillani, S. T. A., Tao, X., Tariq, J., & Chen, D. (2025). Eco-friendly construction: Integrating demolition waste into concrete masonry blocks for sustainable development. *Construction and Building Materials*, 460, 139797. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139797>

Jameel, M., Suteerasak, T., Chumpol, P., Puttiwongrak, A., Sae-Long, W., & Sukontasukkul, P. (2025). Properties of one-part geopolymer pedestrian blocks made using 100% waste materials. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04538. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04538>

Kaewpikul, D., Kaewmanee, P., Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Hanjitsuwan, S., Phoo-ngernkham, T., & Banthia, N. (2025). Polyvinyl chloride (PVC) waste in pressed geopolymer concrete: Analyzing properties and feasibility application considerations. *Construction and Building Materials*, 468, 140372. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140372>

Kuoribo, E., Shokry, H., & Mahmoud, H. (2024). Attaining material circularity in recycled construction waste to produce sustainable concrete blocks for residential building applications. *Journal of Building Engineering*, 96, 110503. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110503>

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). (2013). *NMX-C-441-ONNCCE-2013. Industria de la construcción—Mampostería—Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural—Especificaciones y métodos de ensayo*. Plataforma de normalización de la Secretaría de Economía.

<https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-c-441-onncce-2013/>

Peisino, L. E., Barbero-Barrera, M. del M., Barrio García-Castro, C., Kreiker, J., & Gaggino, R. (2024). Assessment of the mechanical and physical characteristics of PET bricks with different aggregates. *Journal of Environmental Management*, 357, 120720.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120720>

Qasim, M., Abbas, Z. K., & Abed, S. K. (2022). Production of load bearing concrete masonry units (blocks) from green concrete containing plastic waste and nano silica sand powder. *Journal of Engineering*, 28(8), 54–70. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2022.08.04>

Sawant, R., Joshi, D. A., & Menon, P. (2025). Sustainable paver block development using recycled plastic waste and fiber reinforced geopolymer concrete. *Discover Applied Sciences*, 7, 1260. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07481-5>

SEDATU. (2021). *Lineamientos para la producción de vivienda social con criterios de sostenibilidad*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.

SEDESOL. (2017). Catálogo de soluciones habitacionales sustentables. Secretaría de Desarrollo Social.

Sharaky, I., Reda Taha, M. M., Ali, M. E., & Mohamed, A. M. O. (2021). Strength and water absorption of sustainable concrete produced with recycled concrete aggregates and powder. *Sustainability*, 13(11), 6277. <https://doi.org/10.3390/su13116277>

Zahra, T., Dorji, J., Thamboo, J., Asad, M., Kasinski, W., & Nardone, A. (2023). In-plane and out-of-plane shear characteristics of reinforced mortarless concrete block masonry. *Journal of Building Engineering*, 66, 105938. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.105938>

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons 