

A Systematic Review of Sustainable Construction in Urban Areas

Anaya Sondor, David Andres¹; Aquino Camasita, Manuel Eugenio¹; Chaccha Ricse, Tomy Johan¹; Chambilla Chambi, Deysi Adryana¹; Fernández-Flores, Silvia Milagros²

¹Faculty of Industrial and Systems Engineering, National University Federico Villarreal, Peru.

2025028629@unfv.edu.pe, 2025028513@unfv.edu.pe, 2025006474@unfv.edu.pe, 2025028647@unfv.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, Perú C29752@utp.edu.pe

Abstract– *Materials are key in building construction, as well as in the impact they have on the environment. This systematic review focused on identifying the feasibility of using materials with construction waste for sustainable construction in urban areas. To identify important questions within the topic, we used the PICO table, which allowed us to apply inclusion and exclusion criteria. Consequently, this led us to use the PRISMA methodology, enabling us to narrow down a number of articles. That being said, it was found that the use of sustainable materials such as binders is beneficial, as it generates 25.3 MPa of structural strength, thus concluding that the implementation of sustainable construction represents a viable alternative to reduce environmental impact and minimize waste production.*

Keywords– *sustainable construction, waste construction, environmental impact, sustainable materials.*

Una Revisión Sistemática de la Construcción Sostenible en Áreas Urbanas

Anaya Sondor, David Andres¹; Aquino Camasita, Manuel Eugenio¹; Chaccha Ricse, Tomy Johan¹; Chambilla Chambi, Deysi Adryana¹; Fernández-Flores, Silvia Milagros²

¹Faculty of Industrial and Systems Engineering, National University Federico Villarreal, Peru.

2025028629@unfv.edu.pe, 2025028513@unfv.edu.pe, 2025006474@unfv.edu.pe, 2025028647@unfv.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, Perú C29752@utp.edu.pe

Resumen – Los materiales son fundamentales en la construcción de edificios, así como en su impacto ambiental. Esta revisión sistemática se centró en identificar la viabilidad del uso de materiales procedentes de residuos de construcción para la construcción sostenible en zonas urbanas. Para identificar las preguntas clave dentro del tema, utilizamos la tabla PICO, que nos permitió aplicar criterios de inclusión y exclusión. Posteriormente, aplicamos la metodología PRISMA, lo que permitió seleccionar un número reducido de artículos. Dicho esto, se encontró que el uso de materiales sostenibles, como aglomerantes, es beneficioso, ya que genera una resistencia estructural de 25,3 MPa, concluyendo así que la implementación de la construcción sostenible representa una alternativa viable para reducir el impacto ambiental y minimizar la generación de residuos.

Palabras clave: construcción sostenible, residuos de construcción, impacto ambiental, materiales sostenibles.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el apresurado desarrollo de la urbanización y la expansión del sector de la construcción han incrementado significativamente los problemas medioambientales, lo que ha dado paso al surgimiento de un problema crítico.[1] La industria de la construcción, se reconoce como un agente que coopera con la generación de emisiones globales de gases de efecto invernadero, impulsada por el extenso uso del concreto convencional en las actividades de construcción.[2], [3]. Se estima la industria de la edificaciones es responsable del 39% de las emisiones globales de carbono [4], con una demanda del 35% de la energía [3] lo que genera volúmenes cercanas a 600 millones de desperdicios.[5] Además, siendo este sector, el que más materiales consume y los que originan las emisiones de carbono por el uso de los materiales de construcción y la producción de sus residuos. [1] Los productos con gran intensidad de recursos, como el cemento, acero y los ladrillos de arcilla demuestran que dañan el medio ambiente en su producción. [6], [7], [8]

En contraste, los recientes estudios han abordado diferentes perspectivas sobre la construcción sostenible, incluyendo la viabilidad técnica y ambiental del uso de los agregados reciclados, los cuales han manifestado ser efectivos para reducir las emisiones de carbono y mitigar el impacto ecológico, ya que la producción de materiales de construcción como concreto y ladrillos son responsables de la mayoría de emisiones en el

proceso de construcción,[7], [9], [10] por ello se ha investigado materiales alternativos como los geopolímeros, considerados una alternativa más ecológica tanto en su producción y uso, ya que contribuye al reciclaje al ser incluidos los geopolímeros a la mezcla para elaborar el concreto y ladrillos, se permite la reducción en las emisiones de carbono en el proceso de elaboración.[11] En cambio utilizar ladrillos de plástico reciclado en comparación con los métodos de construcción convencionales aumenta la emisión de carbono por factores como el transporte o recolección de residuos.[12]

Por otra parte, se han desarrollado metodologías basadas en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la metodología para medir la repercusión ambiental conectada con los productos durante todas sus etapas,[6] para evaluar de manera integral y comparar el impacto ambiental relacionado a la renovación de las edificaciones debido a la cantidad de escombros que se producen en la edificación de una nueva construcción, junto con lo laborioso que es reciclar.[13]

Asimismo, distintos materiales como los de origen biológico, entre ellos lo son el coco o bambú, tienen un impacto menor en el ciclo de vida en comparación con los de uso tradicional en la construcción.[14] A pesar de los innumerables estudios existe limitada información sobre la aplicación de los distintos materiales, especialmente a largo plazo. La rápida urbanización y la escasez de viviendas impulsan la demanda y evidencia la dificultad de evaluar la ampliación de estos biomateriales,[3] ya que al usar un material completamente distinto se convertiría en un problema logístico para un sistema que está tan arraigado a los materiales de construcción tradicionales. Adicionalmente la práctica real de estos materiales de construcción sostenible genera preocupación por las repercusiones debido a los diversos factores como el costo, beneficios y rendimiento a largo plazo, lo que restringe su implementación.[6], [15] El problema central que tomará esta revisión es la falta de un análisis y de una guía clara que oriente en la toma de decisiones en el proceso de construcción y renovación sostenible en zonas urbanas.

En este marco, abordar estas brechas es crucial para impulsar el desarrollo urbano sostenible.[9] Esta revisión analiza de manera crítica y sistemática investigaciones recientes sobre examinar el ciclo de vida de los biomateriales, evaluar el desempeño técnico y las propiedades de los materiales

derivados de residuos de construcción y demolición, lo cual permitirá promover la recuperación y reutilización al final de su vida útil.[9], [14], [16] Además, se plantea la implementación de nuevas herramientas con el propósito de reducir gases contaminantes.[1] A fin de aumentar nuestro conocimiento sobre el tema y contribuir a la implementación de posibles rutas de acción que aceleren la transición hacia un entorno que favorezca la construcción más sostenible y resiliente en áreas urbanas.

El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar de manera critica las contribuciones y sintetizar la literatura científica reciente orientada a la reducción de residuos provocados por las construcciones en entornos urbanos.

Preguntas de investigación:

Para cumplir con el objetivo la revisión sistemática busca responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué impactos genera la gestión inadecuada de residuos en la construcción?
2. ¿Qué acciones se pueden aplicar para reducir la generación de residuos en la construcción sostenible en áreas urbanas?
3. ¿Cómo se compara la construcción no sostenible en términos de costo, impacto ambiental y beneficios sociales?
4. ¿Qué beneficios medibles se logran al aplicar practicas sostenibles en la construcción urbana?

II. METODOLOGÍA

La presente investigación empleó un enfoque de Revisión Sistemática de Literatura (RSL), la estrategia que desarrolló es PICO para la formulación de la pregunta de investigación y orientar la búsqueda de evidencia científica disponible se realizó a partir de una base de datos en Scopus, esencialmente artículos de revisión sistemática de los últimos años. Se puede observar en la Tabla 1 que este método permitió identificar el problema, la intervención, la comparación y los resultados relacionados con el tema, mediante el uso de palabras clave específicas. El proceso permitió estructurar y guiar el análisis crítico sobre la construcción sostenible.

TABLA I
MÉTODO PICO

P Problem	Alta generación de residuos en proyectos de construcción.	¿Qué impactos genera la gestión inadecuada de residuos en la construcción?
--------------	---	--

I Intervention	La implementación de estrategias de reciclaje y la reutilización de materiales en la construcción.	¿Qué acciones se pueden aplicar para reducir la generación de residuos en la construcción sostenible en áreas urbanas?
C Comparison	Construcciones no sostenibles en áreas urbanas.	¿Cómo se compara la construcción no sostenible en términos de costo impacto ambiental y beneficios sociales?
O Outcomes	La aplicación de prácticas sostenibles en construcción urbana contribuye a la reducción de la huella de carbono, la mejora de la calidad de vida en las ciudades y el fortalecimiento de la adaptabilidad urbana.	¿Qué beneficios medibles se logran al aplicar practicas sostenibles en la construcción urbana?

Después de establecer el método Pico, se emplearon las palabras clave correspondientes a cada parte para elaborar la siguiente fórmula de búsqueda:

("waste" OR "recycling" OR "reuse" OR "Construction refuse generation" OR "Construction debris generation" OR "Building waste generation" OR "building" OR "construction" OR "pollution" OR "urban development" OR "low-impact construction" OR "sustainable architecture" OR "Green building projects" OR "Sustainable architecture projects" AND "Construction material reuse" OR "Building material reuse " OR "Reuse in construction" OR "green building" OR "sustainable construction" OR "construction waste" OR "recycled materials" OR "materials recovery" OR "Construction recovery" AND "Evaluate unsustainable construction" OR "Assess unsustainable building" OR "non-sustainable construction" OR "sustainable construction" OR "green construction" OR "ecological construction" OR "high energy consumption buildings" OR "Unsustainable building impact" AND "conventional construction" OR "traditional construction" OR "urban quality of life" OR "urban construction" OR "environmentally friendly construction" OR "environmental impact" OR "Urban sustainable practices" OR "Sustainable urban building" OR "Eco urban building" OR "Urban eco practices" OR "Green city building" OR "Low-carbon urban building" or "Sustainable city building" OR "Sustainable architecture" OR "Carbon reduction")

La Figura 1 muestra el número de estudios para cada punto de exclusión.

TABLA II
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterios	Especificaciones
Inclusión	- Estudios publicados entre 2020-2025. - Enfoque en construcción sostenible en áreas urbanas. - Materiales: reciclados, biobasados, geopolímeros, residuos de construcción. - Métodos: ACV, evaluación técnica, análisis económico-ambiental. - Evaluación de construcción sostenible y no sostenible. - Publicaciones en español o inglés. - Resultados medibles, como reducción de residuos.
Exclusión	- Estudios anteriores a 2020. - Áreas no urbanas o rurales. - Estudios duplicados o con información insuficiente. - Sin comparación entre métodos sostenibles y convencionales. - No abordan la gestión de residuos.

Luego, en la Tabla 2 se elaboró los criterios de la declaración PRISMA, se seleccionó los estudios apropiados en función de criterios específicos, tanto de inclusión como de exclusión, para el desarrollo de un tema de investigación de interés y posteriormente analizar y sintetizar los resultados obtenidos.

Luego de realizar el método PICO, donde se utilizó la ecuación de búsqueda en la base de datos SCOPUS, se obtuvo un resultado de 2040 artículos, el cual se realizó a mediados de 2020-2025. Con base en esto, se aplicó el método PRISMA, donde se eliminaron 147 artículos por duplicados y relevancia, resultando en 371 estudios seleccionados para evaluación de títulos y resúmenes. Asimismo, se excluyeron 124 artículos adicionales durante la evaluación de elegibilidad, quedando 247 estudios para evaluación de texto completo. Finalmente, se aplicaron los criterios de exclusión, excluyendo 73 artículos y resultando en 174 artículos seleccionados para la investigación.

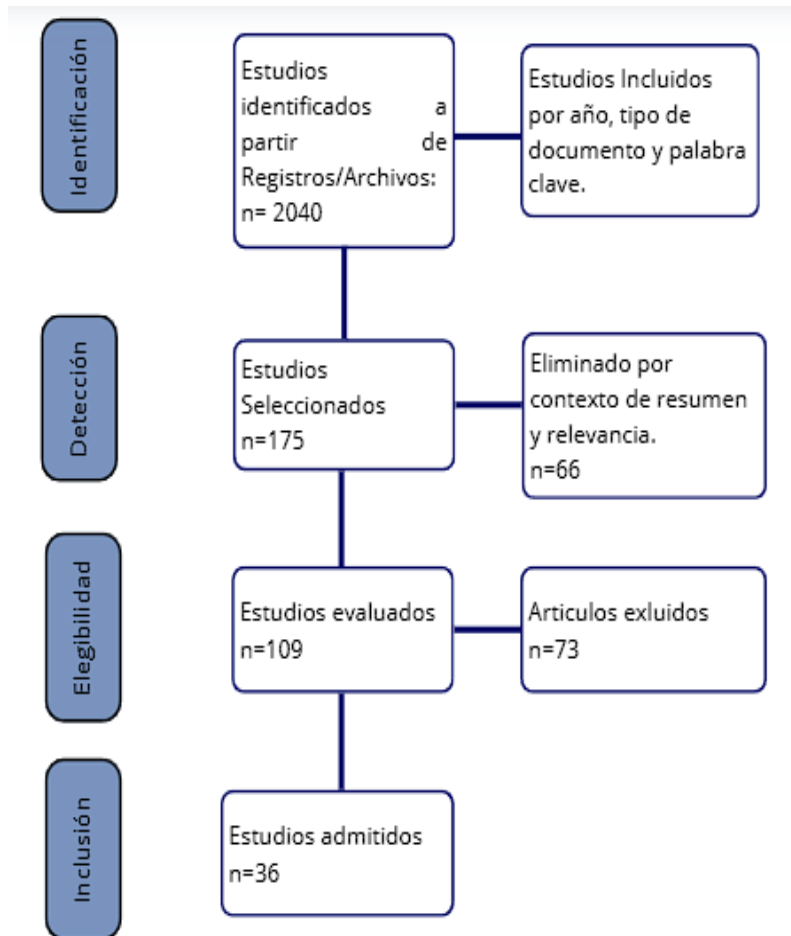
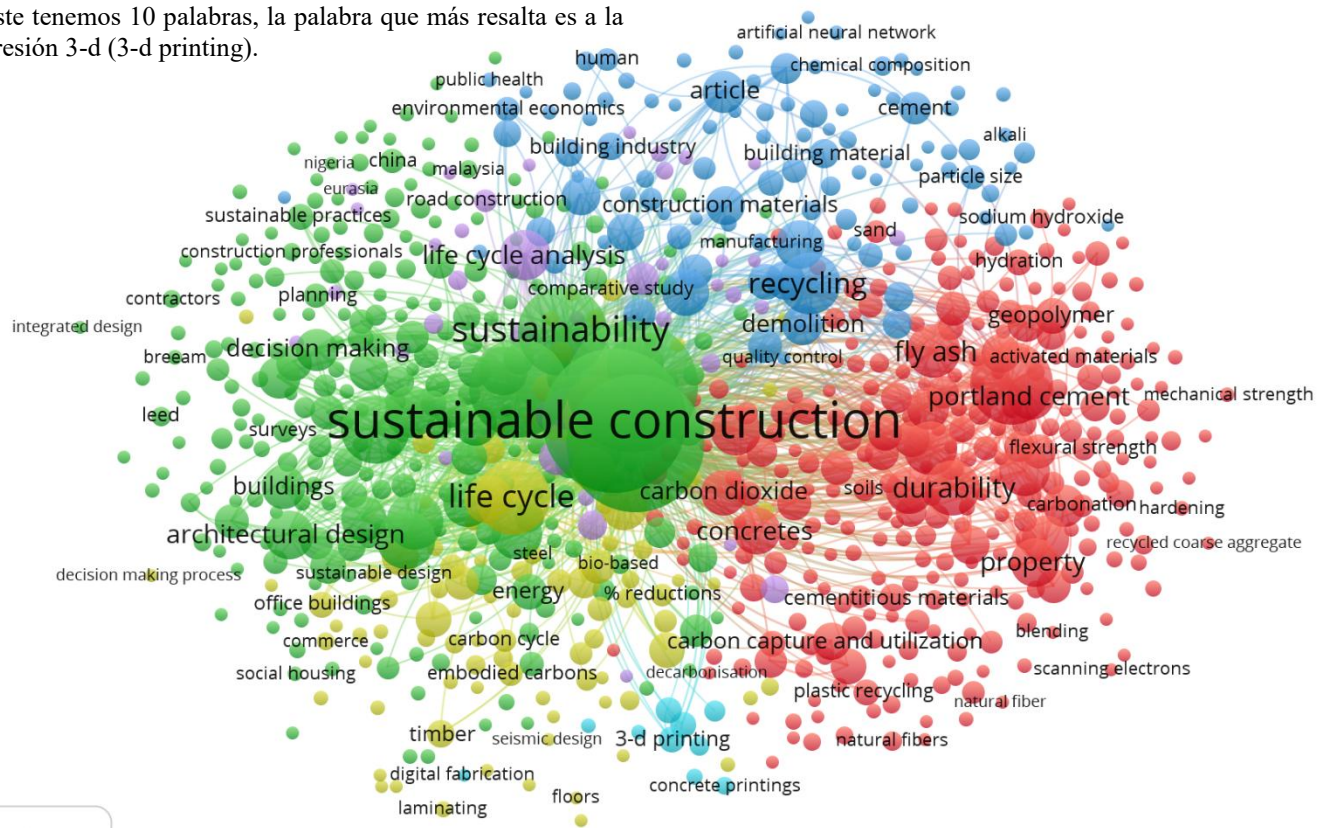


Fig. 1 Diagrama PRISMA.

En la Figura 2 se muestra el VOSviewer de las Keywords (Palabras Claves) de los 2040 artículos del algoritmo de búsqueda en Scopus, este grafico está compuesto de 791 palabras clave y está dividido en 6 clúster los cuales cada uno guardan relación con la construcción sostenible, en el primer clúster de color rojo tenemos 283 palabras, la palabra más resaltante es resistencia a la compresión (compressive strength), en el segundo clúster de color verde tenemos 264 palabras, la palabra más resaltante es construcción sostenible (sustainable construction), en el tercer clúster de color azul tenemos 100 palabras, la palabra más resaltante es reciclaje (recycling), en el cuarto clúster de color amarillo, con 95 palabras del cual la más resalta es ciclo vital (life cycle), en el quinto clúster de color lila tenemos 39 palabras, la palabra que más resalta es análisis del ciclo de vida (life cycle analysis), en el sexto clúster de color



Por otra parte, muchos de los artículos que se encuentran en nuestra base de datos, aunque publicados en un país en específico gran cantidad de estos citan o se encuentran citados por artículos de otros países mostrando como el desarrollo de materiales sostenible es un esfuerzo en conjunto como muestra la Figura 3 con las citaciones entre los principales países.



Según el análisis de los artículos usados para nuestra revisión, se puede observar en la Figura 4 un crecimiento exponencial la cantidad de documentos científicos publicados sobre construcción sostenible en áreas urbanas entre el 2023 al 2025, además de un ligero crecimiento desde el 2021 al 2023.

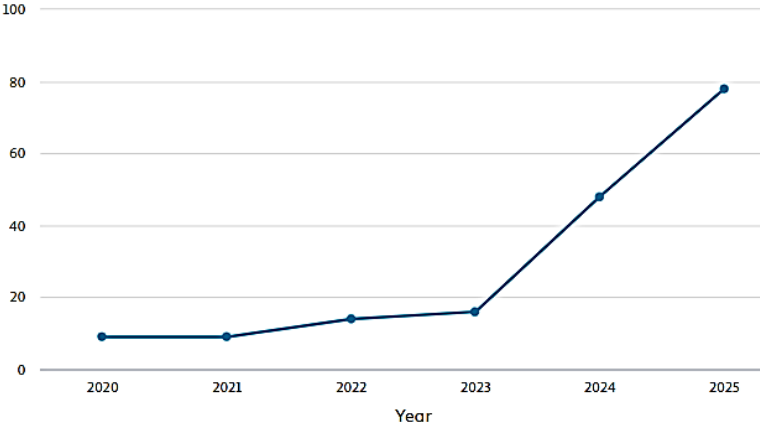


Fig. 4 Fecha De La Investigación.

La Figura 5 muestra la clasificación de los 174 documentos seleccionados según su área temática principal. Se observa que Ingeniería concentra casi la mitad de las publicaciones (48.5%), seguida de Ciencia de los Materiales (10.6%) y Ciencias Ambientales (9.7%).

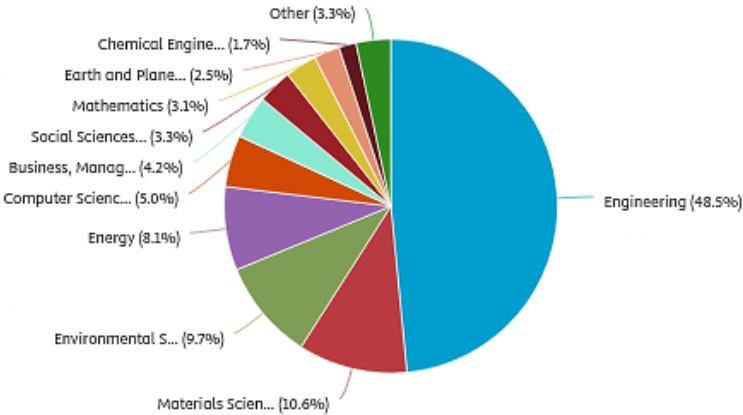


Fig. 5 Distribución Por Áreas Temáticas

III. RESULTADOS

TABLA III
COMPARATIVA DE MATERIALES SOSTENIBLES Y TRADICIONALES

	M. Tradicional	M. Sostenible
--	----------------	---------------

Origen de los materiales	Proviene de procesos extractivos que requiere el uso de gran cantidad de energía además de tener un ciclo de producción lineal sin casi oportunidad de reciclar.[17]	Los materiales compuestos con residuos para integrar materiales sostenibles y cambiar sus procesos y propiedades.[17]
Emisiones de CO2	Tiene un fuerte impacto debido a que la producción y uso de estos materiales emite gran cantidad de CO2. [18]	Busca brindar opciones de materiales y procesos con menor producción de CO2 y/o utilizar residuos que de otra forma liberarían CO2. [18]
Durabilidad y mantenimiento	Generalmente duraderos, pero de difícil mantenimiento por la corrosión y muchas veces es más fácil y barato reemplazarlo.[19]	Suele depender del tipo de material y su proceso, pero busca mejorar las propiedades del material tradicional.[19]
Disponibilidad	Alta disponible global y producción masiva debido a un proceso estandarizado.[18], [20]	Poca oferta y producción en países en vías de desarrollo y altos precios por los costos de transporte.[2]
Costo inicial	Menor costo inicial de materiales y métodos debido a su amplia oferta y la estandarización.[2], [21]	Mayor Costo debido a el transporte y poca industrialización del proceso de producción.[22] Además la falta de incentivos gubernamentales presenta un impedimento al compensar el sobrecosto de la aplicación de Tecnologías de

		Construcción Verde (GCT).[2]
--	--	------------------------------

En la Tabla 3 se sintetiza y resalta la gran parte de los artículos, los cuales son esenciales para nuestra investigación, estos estudios abarcan el análisis de los agregados y diferentes métodos que pueden usarse para innovar en la producción de materiales de construcción con el fin de darle otras propiedades y buscar alternativas cuyos procesos produzcan rebuquen el CO₂ y ayuden a reciclar materiales. Entender las diferencias es fundamental, al comparar material de construcción tradicional y sostenible, teniendo en cuenta que las características del material de construcción sostenible varían mucho según su elaboración.

TABLA IV
TIPOS DE MATERIALES SOSTENIBLES MÁS INVESTIGADOS

Tipo de Material Sostenible	Contexto de Investigación
Aglutinantes activados por álcali (AAB) o Geopolímeros	Explorados como sustitutos prometedores del cemento Portland, cuya producción es responsable de una significativa emisión de CO ₂ . [23], [24] El aglomerante álcali-activado un material que alcanza una resistencia de 23.5 MPa y apto para el uso estructural se forma al combinar 75% de escoria de acero (BSSF) con 25% de ceniza volante (FA), dos materiales que a diferencia del cemento portland utiliza los residuos industriales, lo cual disminuye las emisiones de contaminantes. [23]

Agregados de Concreto Reciclado (RCA)	Los agregados reciclados son los fragmentos de concreto obtenidos de residuos de construcción y demolición. [25] El análisis del ciclo de vida confirma que la producción del cemento es la principal fuente de contaminación ambiental, pero la sustitución a los agregados naturales por agregados reciclados mejora la sostenibilidad sin embargo la aplicación estructural es limitada por problemas de calidad y desempeño mecánico, ya que el concreto reciclado (RAC) alcanza resistencias cercanas a 15 MPa. [25], [26]
Plásticos Reciclados	El uso de plástico reciclado transformado en pellets, incluido en las mezclas de concreto, esto disminuye de manera significativa el impacto ambiental, ya que, al reemplazar parcialmente los materiales tradicionales del concreto, se contribuye a la mejora en sus propiedades mecánicas, caracterizado por una mayor resistencia (aumentó en un 11.3 %) y menor peso. [25], [27]
Fibras Naturales	Madera, Bambú, Glubam: son alternativas sostenibles para la construcción, además, el aumento del contenido de fibra mejora la resistencia mecánica entre 22 MPa y 47 MPa. Estos materiales representan una opción viable para reducir la contaminación y optimizar el rendimiento estructural en edificaciones sostenibles. [28]
Fibras de Mascarilla Desechable Reciclada	Las mascarillas elaboradas con plástico polipropileno al ser recicladas y transformadas en fibras para su incorporación en mezclas de concreto representan un marco de la construcción sostenible útil, ya que mejoran la resistencia mecánica del concreto (23.36 MPa a 43.77 MPa) al ser incluido y reducen la contaminación ambiental. [22]

Nanotecnología a base de Organosilano	Los compuestos a base de Organosilano son aditivos nanotecnológicos sostenibles, reemplazando a los materiales tradicionales de construcción más contaminantes. Estos compuestos refuerzan y mejoran el suelo y la adherencia hasta 99% del asfalto, así como incrementando significativamente la resistencia a la tracción en un 86.3% y reducen la expansión de las carreteras en diversas regiones del Perú a menos del 0.5%, además de reducir las emisiones de carbono.[29]
---------------------------------------	--

Continuando el análisis, en la Tabla 4 se recopiló y se clasificó la información en base a las materias relacionadas a la construcción sostenible, debido a una creciente demanda del uso de los materiales de construcción, el análisis sistemático realizado permitió identificar y describir los tipos de materiales sostenibles más investigados, sin perjudicar el rendimiento estructural sostenibles. [30], [31]. Los hallazgos sintetizados en la Tabla 4, evidencian la diversidad de alternativas disponibles para la construcción sostenible. En conjunto, la clasificación de estos materiales refuerza la necesidad de la gestión y reciclaje como pilares fundamentales en la transición hacia un modelo de economía circular en el sector de la construcción urbana.[4], [9].

IV. DISCUSIÓN

La gestión inadecuada de los residuos de construcción continua representando uno de los principales problemas a nivel global, generando repercusiones ambientales, económicas y sociales.[4] El crecimiento demográfico y la rápida urbanización, con proyecciones que estiman un aumento del 70% de la población en áreas urbanas para 2050[5] y se predice que la producción de materiales con un impacto negativo para el medio ambiente como el acero supere los 1950 millones de toneladas anuales para 2025,[8] han transformado al sector de la construcción en un alto consumidor de materias primas y energía, además en una de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) [8]. En este contexto, la producción solo del cemento genera aproximadamente entre 6% y 8% de las emisiones globales de CO₂, [27], [32] mientras que en el 2023, el sector de la construcción y edificación generó el 34% de las emisiones globales de CO₂, de las cuales el 11% se atribuyó directamente a las actividades constructivas.[18]

Asimismo, la demolición y renovación de infraestructuras son responsables de producir enormes volúmenes de residuos de construcción y demolición (RCD),

con tasas de reciclaje de apenas el 5% en algunas regiones. Esta situación contribuye al agotamiento de los recursos naturales, los cuales alcanzan los 13.12 mil millones de toneladas anuales, con una tendencia creciente.[33]

Ante este panorama, resulta importante buscar un equilibrio entre la innovación en materiales sostenibles y la optimización del diseño estructural. Una estrategia eficiente es la sustitución del cemento Portland, principal emisor de CO₂ en el hormigón [23], por opciones de bajo impacto ambiental como el uso estratégico de agregados reciclados(RCA) combinado con cenizas volcánicas para valorizar los residuos de construcción y demolición.[9] Asimismo, la optimización estructural mediante una selección adecuada de materiales y la reducción del uso de estructuras de hormigón armado puede disminuir hasta en un 22% las emisiones de carbono.[34]

Acerca de los costos de los materiales, los elevados gastos asociados a los métodos de construcción sostenible es el principal obstáculo,[35] junto con la falta de incentivos gubernamentales representan una barrera de la adopción de prácticas más sostenibles lo que las transforma en solo un enfoque innovador.[2], [21] Aunque por ejemplo en grandes proyectos especialmente en regiones con altas tarifas reportaron un ahorro de hasta un 20% del costo total del proyecto al usar áridos reciclados como alternativa sostenible.[26] La construcción no sostenible se caracteriza por un modelo lineal de producción y consumo lo que significa extraer, usar y desechar, sin considerar la posibilidad de reciclar el material esto siendo incompatible con el modelo de economía circular “La circularidad fomenta prácticas eficientes en el uso de recursos al prolongar la vida útil de los materiales y reducir la dependencia de recursos vírgenes, a la vez que añade valor económico”.[33],[36] En este contexto, los residuos de concreto presentan un bajo valor económico (aproximadamente 5–10 \$/ton) cuando no son procesados. Sin embargo, mediante procesos como la abrasión mecánica, estos pueden transformarse en áridos reciclados de mayor calidad, alcanzando valores cercanos a los áridos naturales (20–30 \$/ton). Esto permite reducir la necesidad de extraer materiales naturales, lo que representa una alternativa sostenible y también económicamente viable para la industria de la construcción.[26] Mientras que hay una demanda por los agregados naturales que crece 5% anualmente por su extracción intensiva lo que limita la sostenibilidad, [25] como los materiales tradicionales, cemento y acero, los cuales emiten 7% y 8% de las emisiones de gases globales,[30] se asegura que un limitante de las prácticas sostenibles es el alto costo inicial.[21]

En relación a los beneficios sociales de la construcción sostenible, es necesario considerar indicadores que permitan o reflejen cómo varía el bienestar, calidad de vida y la interacción de las personas involucradas en el proyecto, estos beneficios pueden medirse a través de factores como la organización y coordinación del equipo de trabajo, la satisfacción y motivación

laboral entre otros,[33] además de que la implementación de materiales sostenibles promueve una mayor colaboración entre los actores del ciclo de vida del edificio, fomentando la comunicación interdisciplinaria y calidad de vida bajo un mismo estándar de sostenibilidad.[6] En relación, un factor importantes es la aceptación pública de las nuevas tecnologías sostenibles para garantizar un mayor éxito en la implementación.[18]

Por otra parte, se logró la reducción de costos de material y transporte en un 30%,[33] de igual forma, el ahorro energético logró reducirse en un 25% frente a otros momentos.[6] las emisiones de CO₂ fueron disminuidas en un 30% y se logró el reciclaje de alrededor de 80 toneladas de plástico.[33] todo esto junto alcanzó un gran impacto social, conduciendo una mejora y reducción de las grandes emisiones de dióxido de carbono, mejorando la gestión de recolección de residuos sólidos y resultando en una menor contaminación ambiental.[33]

En otro aspecto, algunos artículos del algoritmo mencionan que el uso de la madera en comparación con las estructuras de hormigón armado y acero, han demostrado que la energía incorporada y el carbono incorporado son significativamente menores en la construcción a base de madera,[33] pero lo que no se aborda es las consecuencias del uso de la madera la cual en un hogar puede ser altamente inflamable, también se menciona el uso de opciones para bajar el impacto del CO₂ [18] pero si no se realiza una reforestación correcta esto contribuir al aumento del CO₂.

V. CONCLUSIÓN

El análisis crítico de la literatura determinó que la construcción sostenible representa una alternativa viable para reducir el impacto ambiental y minimizar la producción de residuos. Los resultados evidenciaron que la sustitución de materiales tradicionales por opciones sostenibles, como los materiales biobasados, los agregados de concreto reciclado o geopolímeros son estrategias que logran reducir significativamente la alteración al medio ambiente.

No obstante, pese a las ventajas que proponen la implementación de estas tecnologías, en muchos lugares aún no se adoptan a estas nuevas medidas ya sea por diferentes motivos como los incentivos gubernamentales, normas, costos de implementación, inexactitud de sus propiedades o la dependencia a los materiales tradicionales, dejando de lado la capacidad de tener un mejor desarrollo con la sostenibilidad ambiental.

Asimismo, la construcción sostenible en el área urbana depende del uso de estrategias que promuevan el reciclaje de materiales como los escombros y el desarrollo de procesos de producción innovadores que busquen reducir las emisiones de

CO₂ además de promover una economía circular. Los resultados que obtuvimos muestran como al remplazar los materiales tradicionales por otras alternativas como materiales con agregados reciclados, geopolímeros y materiales biobasados permitieron reducir en gran medida los materiales necesarios para su producción además de disminuir los residuos, estos materiales también han demostrado que generar beneficios sociales asociados al bienestar además de promover la colaboración en el sector de construcción.

VI. RECOMENDACIONES

En base a la revisión sistemática, se proponen líneas de acción para una transición a la construcción sostenible en zonas urbanas.

En primer lugar, resulta fundamental fortalecer las políticas públicas orientadas a incentivar el uso de materiales sostenibles, a través de mecanismos como subsidios, leyes de planificación o la incorporación de criterios como requisitos mínimos de sostenibilidad para evitar desalientos ya sea por costo o información, porque la falta de apoyo gubernamental es una de las principales barreras para la transición al uso de prácticas más sostenibles.

En segundo lugar, se requiere establecer marcos normativos claros que regulen el uso de agregados naturales que generan un gran impacto ambiental además de regular los materiales geopolímeros, agregados reciclados y biomateriales como la madera y el coco en la construcción urbana. Esto es esencial ya que la falta de estándares técnicos puede restringir sus beneficios, aplicaciones o implementación en el sector.

En tercer lugar, se recomienda fomentar investigaciones de largo plazo que evalúen el desempeño estructural y la durabilidad de estos materiales sostenibles y no sostenibles bajo condiciones reales de uso.

Finalmente, se sugiere promover programas de capacitación técnica hacia los profesionales de la construcción, a fin de tener una transición segura al cambio tecnológico y facilitar la adopción hacia modelos de economía circular en el sector, ya que las barreras de la transición hacia la construcción sostenible dependen de la integración efectiva entre la ciencia, la tecnología y la gestión urbana.

REFERENCIAS

- [1] C. N. N. Tran, I. M. C. S. Illankoon, and V. W. Y. Tam, "Decoding Concrete's Environmental Impact: A Path Toward Sustainable Construction," *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 442, vol. 15, no. 3, p. 442, Jan. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15030442.
- [2] Y. Wang, D. Chong, and X. Liu, "Evaluating the critical barriers to green construction technologies adoption in China," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 12, Jun. 2021, doi: 10.3390/su13126510.
- [3] H. Fischer, F. Frühwald, and A. Korjenic, "Ecological comparison of hygrothermally safe floor constructions based on renewable raw materials for multi-storey buildings," *Journal of Building Engineering*, vol. 57, p. 104899, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104899.

- [4] M. R. Hosseini *et al.*, “Environmental impact assessment of refurbishment versus new Construction: A multi-category life cycle analysis of building projects,” *Journal of Building Engineering*, vol. 112, p. 113825, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.JOBE.2025.113825.
- [5] F. Naghibalsadati, N. Karimi, S. J. Mim, and K. T. W. Ng, “Thematic evolution of Life Cycle Assessment in construction and demolition waste management: before and after ISO 14040 and the Paris Agreement,” *Journal of Building Engineering*, vol. 111, p. 113482, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.JOBE.2025.113482.
- [6] A. T. Balasbaneh and W. Sher, “Comparative sustainability evaluation of two engineered wood-based construction materials: Life cycle analysis of CLT versus GLT,” *Build. Environ.*, vol. 204, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108112.
- [7] M. S. M. Almulhim, M. J. Logaby, and U. M. Bongwimso, “Environmental impact assessment of floor system spans: A life cycle approach for sustainable structures,” *Results in Engineering*, vol. 27, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.106851.
- [8] J. Khan, V. Khan, and D. Husain, “Sustainable construction: Analyzing material environmental impact through ecological footprint analysis,” *Results in Engineering*, vol. 27, p. 106937, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.106937.
- [9] S. Masood *et al.*, “Performance and sustainability in hybrid concrete: A study of recycled aggregates and activated fly ash,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 16, no. 10, p. 103597, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.ASEJ.2025.103597.
- [10] F. Asdrubali *et al.*, “A Round Robin Test on the dynamic simulation and the LEED protocol evaluation of a green building,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 78, p. 103654, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.SCS.2021.103654.
- [11] N. Keena *et al.*, “A Life-Cycle Approach to Investigate the Potential of Novel Biobased Construction Materials toward a Circular Built Environment,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 19, p. 7239, Oct. 2022, doi: 10.3390/EN15197239/S1.
- [12] M. S. Amjad and N. Diaz-Elsayed, “Evaluating the environmental impacts of brick production from waste plastic,” *Manuf. Lett.*, vol. 41, pp. 1683–1695, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.MFGLET.2024.09.196.
- [13] P. Štompf, R. Vaňová, and S. Jochim, “The Environmental Impacts of Façade Renovation: A Case Study of an Office Building,” *Sustainability* 2025, Vol. 17, Page 6766, vol. 17, no. 15, p. 6766, Jul. 2025, doi: 10.3390/SU17156766.
- [14] C. Turco, O. B. Carcassi, E. Teixeira, R. Mateus, and L. Ben-Alon, “Thin earth: Bio-stabilized pressed thin earth elements for building applications,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 494, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.143160.
- [15] M. Valente, M. Sambucci, M. Chougan, and S. H. Ghaffar, “Reducing the emission of climate-altering substances in cementitious materials: A comparison between alkali-activated materials and Portland cement-based composites incorporating recycled tire rubber,” *J. Clean. Prod.*, vol. 333, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130013.
- [16] P. Punetha and S. Nimbalkar, “Utilization of construction and demolition waste and recycled glass for sustainable flexible pavements: A critical review,” *Transportation Geotechnics*, vol. 54, p. 101612, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.TRGEO.2025.101612.
- [17] M. U. Ghani, Z. Yonglai, K. Alrasheed, and B. N. K. Raja, “Factors Influencing Performance, Durability, and Environmental Impact of Hydraulic Structures Using Waste Composite,” *Civil Engineering Journal (Iran)*, vol. 11, no. 6, pp. 2536–2559, Jun. 2025, doi: 10.28991/CEJ-2025-011-06-021.
- [18] R. Wesonga, A. Tutesigensi, and K. Moodley, “Advancing net zero carbon construction: A techno-economic and environmental analysis of onsite microgrids and prosumer energy adoption,” *Appl. Energy*, vol. 398, p. 126453, Nov. 2025, doi: 10.1016/J.APENERGY.2025.126453.
- [19] K. Struhala and M. Ostrý, “Life-cycle assessment of a rural terraced house: A struggle with sustainability of building renovations,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/en14092472.
- [20] L. Rossi *et al.*, “Future perspectives for alkali-activated materials: from existing standards to structural applications,” *RILEM Technical Letters*, vol. 7, pp. 159–177, 2022, doi: 10.21809/rilemtechlett.2022.160.
- [21] Ö. Anıl, E. Okay Mutlu, · Kadir, C. Şener, and · Özgür Anıl, “Comparison of mass-timber and RC buildings in terms of seismic performance, LCA, and cost in Türkiye”, doi: 10.1007/s10518-025-02201-1.
- [22] D. T. M. Malazada and A. G. Anwar, “Enhancing Concrete Strength with Recycled Disposable Face Mask Fibers: A Novel Approach to Sustainable Construction,” *Journal of Studies in Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 205–220, Jun. 2025, doi: 10.53898/JOSSE2025521.
- [23] M. L. de Souza, A. R. S. Melo, L. Prévitali, L. F. de A. L. Babadopulos, J. B. dos S. Bastos, and I. S. Bessa, “Characterization of Steel Industry Byproducts as Precursors in Alkali-Activated Binders,” *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 3119, vol. 15, no. 17, p. 3119, Sep. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15173119.
- [24] T. Omur, N. Miyan, H. Özkan, and N. Kabay, “Characterization of rapid-hardening alkali-activated binders incorporating basic oxygen furnace slag and blast furnace slag,” *Journal of Building Engineering*, vol. 111, p. 113616, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.JOBE.2025.113616.
- [25] T. Pavlů, J. Pešta, K. Fořtová, and J. Řepka, “Recycled Concrete in Foundations: Mechanical and Environmental Insights,” *Buildings*, vol. 15, no. 8, p. 1237, Apr. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15081237/S1.
- [26] S. Chandra Kanaujia, S. Aqeel Ahmad, Z. Raza Khan, V. Singh, C. Author, and Z. Khan, “Upcycling C&D Waste via Mechanical Abrasion: Balancing Aggregate Quality Enhancement against Process-Induced Damage,” *International Journal of Environment, Engineering & Education*, vol. 7, no. 2, pp. 135–145, 2025, doi: 10.55151/ijeedu.v7i2.251.
- [27] J. Alnahas *et al.*, “Enhancing the Properties of Concrete with the Incorporation of Recycled Polypropylene Plastic,” *Buildings*, vol. 15, no. 7, Apr. 2025, doi: 10.3390/buildings15071055.
- [28] O. Jara-Vinueza, W. Pavon, A. Remache, F. Arroyo, M. Gutiérrez, and E. Mora Figueroa, “Evaluation of Mechanical Behavior and Application Potential of Totorá (*Schoenoplectus californicus*)-and-Recycled Low-Density Polyethylene–Aluminum (LDPE–Al) Hybrid Panels,” *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 2212, vol. 15, no. 13, p. 2212, Jun. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15132212.
- [29] G. Zavala Ascaño, R. Santos Rodriguez, and V. A. Ariza Flores, “Enhancing Pavement Performance Through Organosilane Nanotechnology: Improved Roughness Index and Load-Bearing Capacity,” *Eng* 2025, Vol. 6, Page 71, vol. 6, no. 4, p. 71, Apr. 2025, doi: 10.3390/ENG6040071.
- [30] M. A. Sánchez-Burgos, A. F. Trompeta, and P. Mercader-Moyano, “Potential of CNT-Enhanced Steel-Reinforced Concrete to Reduce the Impact of Water Management Facilities,” *Buildings*, vol. 15, no. 16, Aug. 2025, doi: 10.3390/buildings15162818.
- [31] Y. Sunarno, M. Tumpu, C. Kandou, D. R. G. Kabo, H. Tumengkol, and P. R. Rangan, “Strength and Sustainability in Concrete: The Dual Role of Fly Ash and Accelerators in Reducing Environmental Impacts,” *Engineering, Technology and Applied Science Research*, vol. 15, no. 3, pp. 23260–23267, Jun. 2025, doi: 10.48084/etasr.10451.
- [32] A. R. Abdelfattah, A. Ragab, M. Elyamany, and S. Younis, “Innovative Utilization of Limestone Calcined Clay Cement from the Egyptian Desert: Enhancing the Physico-Mechanical Properties for Sustainable Construction,” *Civil Engineering and Architecture*, vol. 13, no. 1, pp. 237–256, Jan. 2025, doi: 10.13189/CEA.2025.130114.
- [33] A. O. Irlan, H. Parung, M. W. Tjaronge, and M. A. Caronge, “Mechanical, environmental, and cost evaluation of concrete using recycled polypropylene,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 12, p. 101255, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.CSCEE.2025.101255.

- [34] F. Belizario-Silva *et al.*, “Beams unlock large carbon savings in reinforced concrete structures,” *Structures*, vol. 79, p. 109427, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.ISTRUC.2025.109427.
- [35] L. Ma, J. Musonda, and A. Ali, “Innovation and Cost Influence of Environmental Regulation Policies on Megaprojects,” *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 1012, vol. 15, no. 7, p. 1012, Mar. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15071012.
- [36] Y. Sun, R. Rameezdeen, C. W. K. Chow, and J. Gao, “Information Sharing Barriers of Construction Projects Toward Circular Economy: Review and Framework Development,” *Buildings*, vol. 15, no. 15, Aug. 2025, doi: 10.3390/buildings15152744.