ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.813

RECYCLING AND RESOURCE RECOVERY PROCESSES FROM CONSTRUCTION WASTE: A SYSTEMATIC REVIEW

Maria Y. Garcia-Alvarez, Dra[1], Erika Edith Arroyo Condeña Msc[1], Daniela M. Anticona-Valderrama, Ph.D[1], Jennifer Korall De la Cruz-Garcia, Msc[1], Manuel López Miranda, Msc[1], Marleni Mendoza Damas, Msc[1]
[1]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, *c27266@utp.edu.pe, c19447@utp.edu.pe, c18620@utp.edu.pe, c28481@utp.edu.pe, c18638@utp.edu.pe, c18968@utp.edu.pe*

Abstract- In a world facing an unprecedented environmental crisis, construction and demolition waste (CDW) management is positioned as a critical challenge and an opportunity to transform the construction sector. This article conducts a study of the recycling and resource recovery processes from construction and demolition waste (CDW), with the aim of identifying the most effective and sustainable techniques. From the analysis of 132 articles, 20 studies that met the inclusion criteria were selected, using a methodology based on preferred elements for systematic review reporting. The results highlight the role of advanced technologies such as optical and magnetic separation and 3D printing to optimize the quality of recycled materials, as well as their positive impact on environmental sustainability. Critical challenges were identified such as the absence of homogeneous regulations and the limited adoption of these technologies in the industry. The study concludes that the implementation of sustainable practices and the promotion of the circular economy in the construction sector requires a joint effort between regulators, companies and communities. It also emphasizes the importance of robust policies and continuous research to overcome barriers and maximize environmental and economic benefits.

Keywords-- Construction waste, recycling, recovery, treatment technology and environmental impact.

PROCESOS DE RECICLAJE Y RECUPERACIÓNDE RECURSOS A PARTIR DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Maria Y. Garcia-Alvarez, Dra[1], Erika Edith Arroyo Condeña Msc[1], Daniela M. Anticona-Valderrama, Ph.D[1], Jennifer Korall De la Cruz-Garcia, Msc[1], Manuel López Miranda, Msc[1], Marleni Mendoza Damas, Msc[1]
[1]Universidad Tecnológica del Perú, Perú, *c27266@utp.edu.pe, c19447@utp.edu.pe, c18620@utp.edu.pe, c28481@utp.edu.pe, c18638@utp.edu.pe, c18968@utp.edu.pe*

Resumen– *En un mundo enfrentado a una crisis ambiental sin precedentes, la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) se posiciona como un desafío crítico y una oportunidad para transformar el sector de la construcción. Este artículo realiza un estudio de los procesos de reciclaje y recuperación de recursos a partir de residuos de construcción y demolición (RCD), con el objetivo de identificar las técnicas más efectivas y sostenibles. A partir del análisis de 132 artículos, se seleccionaron 20 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión, utilizando una metodología basada en elementos preferidos para informes de revisión sistemática. Los resultados destacan el papel de tecnologías avanzadas como la separación óptica, magnética y la impresión 3D para optimizar la calidad de los materiales reciclados, así como su impacto positivo en la sostenibilidad ambiental. Se identificaron desafíos críticos como la ausencia de regulaciones homogéneas y la limitada adopción de estas tecnologías en la industria. El estudio concluye que la implementación de prácticas sostenibles y la promoción de la economía circular en el sector de la construcción requieren de un esfuerzo conjunto entre reguladores, empresas y comunidades. Además, enfatiza la importancia de políticas robustas e investigación continua para superar barreras y maximizar los beneficios ambientales y económicos.*

Palabras Clave-- *Residuos de construcción, reciclaje, recuperación, tecnología de tratamiento e impacto ambiental.*

I.INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción genera un alto volumen de desechos de construcción y demolición (RCD), lo que representa un desafío ambiental significativo. Estos residuos, compuestos por una variedad de materiales, no solo ocupan espacios en vertederos y contribuyen a la contaminación ambiental, sino que también ofrecen una oportunidad valiosa para la recuperación y reutilización de recursos.

En los últimos años, se han desarrollado enfoques innovadores destinados a optimizar el reciclaje de RCD, aumentando la eficiencia de los procesos, mejorando la calidad de los materiales recuperados y promoviendo prácticas sostenibles. Según Rojas-Valencia et al. [1], ha crecido la implementación de prácticas de reciclaje y reutilización, incluyendo la integración de los RCD en la fabricación de nuevos productos.

Asimismo, el análisis del impacto ambiental basado en el ciclo de vida de los RCD ha demostrado que el reciclaje y la reutilización al 100% de materiales como metales, tierras excavadas y residuos de piedra es la opción más viable tanto económica como ambientalmente [2]. Por ello, destacan las innovaciones tecnológicas como la separación avanzada de materiales y las mejoras en los procesos de trituración, que no solo facilitan el

reúso de recursos, sino que también potencian la valorización energética de los desechos [3]. Estos avances subrayan la importancia de una gestión eficiente de los RCD, alineando los objetivos del sector de la construcción con la sostenibilidad ambiental.

Una revisión sistemática sobre la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) resulta fundamental para profundizar en la comprensión y aplicación de los principios de la economía circular en este contexto [4]. Este enfoque permite promover prácticas más sostenibles, estimular mercados de construcción más eficientes y reducir significativamente el impacto ambiental asociado al sector. A pesar de los avances registrados en la investigación sobre la gestión de RCD, la información existente se encuentra dispersa e incluso, en algunos casos, resulta contradictoria, lo que dificulta la identificación de soluciones óptimas. Además, el ritmo acelerado de la innovación tecnológica en técnicas de reciclaje exige un análisis crítico que permita evaluar su efectividad y viabilidad en distintos contextos.

Un desafío adicional radica en la heterogeneidad de las metodologías utilizadas en los estudios previos, lo que complica el análisis comparativo y el establecimiento de mejores prácticas. Por ejemplo, las técnicas de separación, trituración y clasificación de materiales varían ampliamente entre estudios, afectando la replicabilidad y la interpretación de los resultados. Por lo tanto, es imprescindible una sistematización que integre los hallazgos recientes, ofreciendo una visión coherente y práctica que facilite la adopción de estrategias efectivas.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los desarrollos más recientes en técnicas de reciclaje y recuperación de recursos provenientes de RCD, abarcando investigaciones publicadas entre 2020 y 2024. A través de esta revisión sistemática, se analizan los métodos más innovadores en términos de eficiencia operativa, calidad de los materiales recuperados y sostenibilidad ambiental. Los resultados no solo identifican enfoques prometedores, sino que también establecen comparaciones entre diversas tecnologías y prácticas, destacando sus ventajas y limitaciones.

Además, el estudio aborda aspectos clave como la

integración de tecnologías avanzadas (por ejemplo, sensores de separación automatizada y sistemas de trituración de alta precisión), la valorización energética de ciertos residuos y el potencial de los RCD como materia prima para la fabricación de nuevos productos. También se examinan los impactos económicos y sociales de estas prácticas, enfatizando la importancia de políticas públicas y regulaciones que favorezcan el desarrollo de una economía circular robusta en el sector de la construcción. En este sentido, esta revisión pretende servir como una herramienta valiosa para investigadores, profesionales de la industria y responsables de la formulación de políticas, orientándolos hacia prácticas más eficientes y sostenibles en la gestión de RCD.

A. Marco Teórico

Los avances más recientes en los procesos de reutilización y exploración de recursos provenientes de desechos de construcción se centran en aumentar la eficiencia, reducción de los costos y minimizar el impacto ambiental. Entre estos avances se incluyen el desarrollo de tecnologías avanzadas de reciclaje, la reutilización de materiales de construcción dentro del marco de la economía circular, el uso de materiales reciclados en impresión 3D, y la implementación de normativas y certificaciones ambientales [5]. La gestión proactiva y reorganizada de desechos constructivos y demolición permite optimizar la reutilización de recursos mediante la gestión integrada de los flujos de residuos, lo que contribuye en minimizar la cantidad de desperdicios en los vertederos [6]. Este enfoque facilita un reciclaje más eficiente y una recuperación de recursos más efectiva, promoviendo un cambio hacia la maximización del valor de los recursos y la reducción de desechos.

A pesar de los avances tecnológicos, persisten desafíos significativos relacionados con la falta de homogeneidad normativa entre regiones. Por ejemplo, en Europa existen directrices claras para la clasificación de RCD y su reutilización, mientras que en América Latina las normativas son fragmentadas y con menor grado de fiscalización, lo que ralentiza la adopción tecnológica [19], [9], [10]. Esta disparidad normativa afecta la estandarización de los procesos de reciclaje y limita la inversión en tecnologías avanzadas, debido a la incertidumbre regulatoria. Estudios recientes indican que las regiones con políticas claras y estímulos fiscales presentan mayores tasas de recuperación de materiales y desarrollo de mercados secundarios [8], [35].

En México, se evidencia un exceso de agregados de residuos de construcción y demolición, por ello se realizó un análisis exhaustivo de los resultados que se obtienen al utilizar agregados reciclados en la elaboración de mezclas de concreto no estructural, examinando las características físicas del concreto obtenido en distintos diseños, iniciando con 50% de material reciclado y aumentando progresivamente hasta llegar a 100%, resultando que al usar 100% de concreto reciclado, se alcanzó una resistencia de 250 kg/cm2 [9]. Es por ello que, en México se ha investigado experimentalmente el uso de RCD como una alternativa viable para sustituir los agregados naturales en la fabricación de concreto hidráulico, utilizándose 100% de agregado grueso reciclado obteniéndose como resultado que la resistencia a la compresión era menor en los primeros 7 días a comparación de un concreto convencionales, sin embargo, adquirió mayor resistencia a la compresión a los 28 días [10].

Adicionalmente para la recuperación y aprovechamiento del material reciclado en la construcción, también es importante considerar la presencia de la mampostería evitando la necesidad de separar tan solo el concreto. Es por ello por lo que, se realizó un estudio para el análisis de dicho caso, donde se halló que conforme se reduce el porcentaje de mampostería y se adiciona cemento, el agregado de compactación se puede mejorar la resistencia a la compresión. Sin embargo, una limitante existente es que el grado de compactación es un método económico, pero no eficiente para el mejoramiento de la deformación elástica admisible y rigidez a la flexión [11].

En este contexto, la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) se ha convertido en un desafío crítico, pero también en una oportunidad estratégica para avanzar hacia una economía circular. Las innovaciones tecnológicas en reciclaje y recuperación de recursos no solo permiten reducir el impacto ambiental, sino que también generan beneficios económicos significativos al optimizar la calidad de los materiales recuperados. Sin embargo, persisten barreras como la falta de regulación estandarizada, la limitada adopción de tecnologías avanzadas y la necesidad de mayor concienciación en la industria. Este estudio aborda estas cuestiones mediante una revisión sistemática de las investigaciones más recientes con el objetivo de identificar prácticas efectivas que promuevan la sostenibilidad y la eficiencia en el manejo de RCD.

II.METODOLOGÍA

En esta investigación se realizó un análisis exhaustivo de estudios científicos relevantes, aplicando estrictos criterios de inclusión y exclusión para garantizar la calidad y pertinencia de las investigaciones seleccionadas. Las búsquedas se llevaron a cabo de manera meticulosa en bases de datos académicas reconocidas, seleccionando únicamente artículos publicados entre 2020 y 2024 que cumplieran con los estándares metodológicos establecidos. Este proceso permitió identificar avances significativos en las técnicas de reciclaje y recuperación de recursos provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD), aportando una visión integral y actualizada sobre el tema.

El estudio adoptó un enfoque cualitativo y descriptivo, sustentado en los principios metodológicos de los Elementos Preferidos para Informes de Revisiones Sistemáticas (PRISMA, por sus siglas en inglés). Este enfoque no solo asegura un análisis riguroso y transparente, sino que también facilita la organización y síntesis de la información, destacando las tendencias emergentes y las mejores prácticas en la gestión de RCD.

A través de esta revisión sistemática de la literatura, se exploraron diversas innovaciones tecnológicas y estrategias

sostenibles aplicadas en la gestión de residuos. La selección de estudios incluyó investigaciones que abordan la eficiencia de procesos como la separación avanzada, el reciclaje mecánico y químico, y el aprovechamiento de tecnologías emergentes como la impresión 3D. Asimismo, se consideraron estudios que analizan el impacto ambiental y económico de estas prácticas, con el objetivo de proporcionar un panorama completo y detallado.

Esta metodología permitió identificar no solo los avances más relevantes en el campo, sino también las lagunas de conocimiento que deben ser abordadas para maximizar el potencial de la economía circular en la industria de la construcción. Además, se destacan las implicaciones de estos hallazgos para la formulación de políticas públicas, la colaboración entre actores clave y el desarrollo de nuevas líneas de investigación. En definitiva, esta revisión sistemática proporciona una base sólida para impulsar la innovación y la sostenibilidad en la gestión de RCD, promoviendo un sector de la construcción más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

La exploración exhaustiva de la SRL se realizó en diversos bancos de datos en línea, como Scopus, SciELO y Google Académico, empleando palabras clave en inglés como: "Construction Waste", "recycling", "recovery", "treatment technology", y " impacto ambiental". Se utilizó la siguientes ecuaciones: en la base de datos Scopus (TITLE-ABS- KEY ("Construction waste" OR "construction waste treatment technology" OR "Construction waste recovery" OR "construction waste management") AND TITLE-ABS-KEY ("Environmental impact" OR "Economic viability" OR "Quality of materials")) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Portuguese") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish")) AND (LIMIT-TO (OA , "all")); SciELO ((Construction waste) AND (construction waste management)) AND (Environmental impact) y Google Académico (TITLE- ABS-KEY ("Construction waste" OR "construction waste treatment technology" OR "Construction waste recovery" OR "construction waste management") AND TITLE ("Environmental impact" OR "Economic viability" OR "quality off materials")).

Para garantizar la rigurosidad del estudio, se aplicaron límites de marginación para descartar artículos que incumplan con los estándares de calidad establecidos, que sean duplicados o que no estén en el idioma requerido. Los criterios de inclusión se centraron en aspectos clave como el título, el resumen, la metodología y los resultados de las investigaciones.

Se obtuvo un conjunto inicial de 132 registros. Luego, se emplearon herramientas de automatización para eliminar 16 documentos que no cumplían con los criterios, y se eliminaron 2 registros adicionales por otras razones, quedando 114 registros para revisión manual. Sin embargo, 50 informes fueron excluidos, de los cuales 64 informes pasaron para su evaluación de elegibilidad.

En la etapa de evaluación de elegibilidad, se excluyeron 29 registros cuyo título no cumplía con los criterios establecidos, y 15 registros fueron descartados por no cumplir con los criterios del resumen. Finalmente, se seleccionan 20 registros para su inclusión en el estudio, tal como muestra la Figura 1. Estos informes seleccionados proporcionan un enfoque global sobre los avances recientes en técnicas de reúso y recuperación de recursos a partir de desechos de construcción. Y 15 registros fueron descartados por no cumplir con los criterios del resumen. Finalmente, se seleccionan 20 registros para su inclusión en el estudio, tal como muestra la Figura 1. Estos informes seleccionados proporcionan un enfoque global sobre los avances recientes en técnicas de reúso y recuperación de recursos a partir de desechos de construcción.

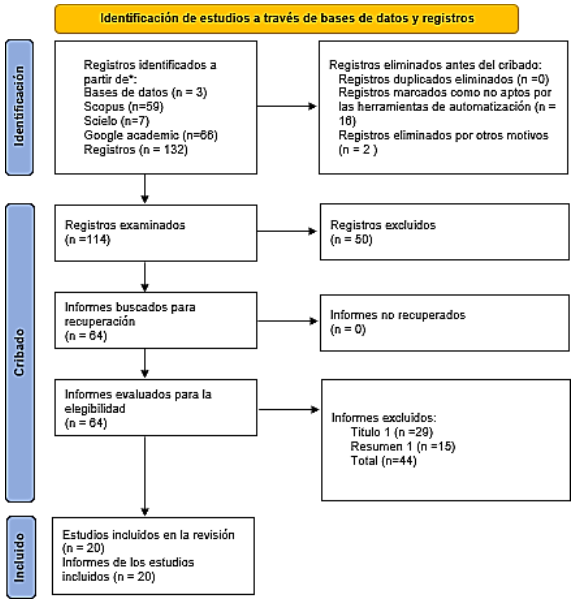

Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

B. Pregunta PICO y sus componentes

Para abordar las necesidades y desafíos en la gestión de residuos de construcción, es crucial identificar enfoques eficaces que optimicen la eficiencia, la calidad de los materiales reciclados y la sostenibilidad ambiental. A fin de evaluar las mejores prácticas y soluciones, surgen preguntas clave que permiten una exploración profunda de los efectos de diversas intervenciones en este campo. A continuación, se presentan las preguntas de investigación formuladas bajo el modelo PICO para guiar el análisis. RQ: ¿Qué métodos de reciclaje y recuperación de recursos de residuos de construcción permite reducir el impacto ambiental, la viabilidad económica por medio de la gestión de calidad de los residuos? RQ1. ¿Cómo se ha definido los residuos de construcción? RQ2. ¿Qué métodos innovadores se están utilizando para purificar y mejorar la calidad de los materiales reciclados obtenidos de residuos de construcción? RQ3. ¿Cómo se comparan y qué beneficios

ofrecen los diversos enfoques de reciclaje y recuperación de recursos en términos de eficiencia, calidad de los materiales recuperados y sostenibilidad ambiental en la gestión de residuos industriales? RQ4. ¿Cuál es el impacto ambiental, la viabilidad económica y la calidad de los materiales recuperados en los diversos enfoques de reciclaje y recuperación de recursos aplicados a los residuos de construcción? RQ5. ¿Qué tendencias de mercados emergentes están surgiendo para la gestión y el reciclaje de residuos de construcción?

III. RESULTADOS

De los 20 artículos analizados 19 estudios tienen un enfoque cuantitativo y un estudio de técnicas y análisis comparativo cualitativa.

Países donde se realizaron el estudio

Las investigaciones realizadas se llevaron a cabo alrededor del mundo, en China con ocho estudios que representa el 40 %, Brasil con dos estudios que representa el 10 % y los otros países restantes con el 5 %, (figura 2).

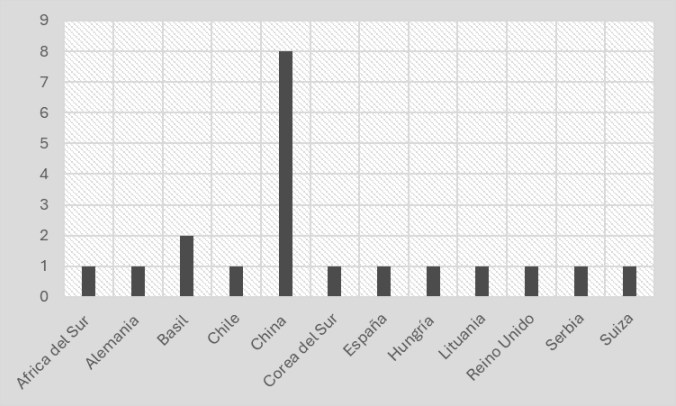

Fig. 2 Estudios realizados por países.

Respondiendo a las preguntas PICO

De las investigaciones analizadas 12 artículos aportan sobre la primera pregunta, estos fueron realizados por diversos autores en diferentes contextos, coincidiendo en la pregunta PICO.

TABLA 1
DEFINICIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN POR AUTORES.

Autores	Año	Aportes
Zhang et al., [18]	2023	En el estudio se define como residuos de construcción aquellos materiales que se generan durante laconstrucción, demolición o renovación de edificaciones, infraestructuras y obras civiles. Estos desechos tienen variedaden materiales entre otros, que son descartados al finalizar un proyecto de construcción.
Shivaprasad et al., [20]	2024	Los residuos de edificaciones se han definido como los materiales sobrantes o desechados que resultan de actividades de construcción, demolición o renovación de edificaciones.
Čantrak et al., [21]	2024	Se han definido como los desechos generados en diversas etapas como producción, demolición y reconstrucción.
Bektaş & Shmlls, [22]	2024	Se han definido como los componentes individuales de concreto y refuerzo estructural, cuyos volúmenes se utilizan como un parámetro crucial para analizar las emisiones de CO2 asociadas con los elementos estructurales del edificio en cuestión.
Wu et al., [23]	2024	Los residuos de construcción se refieren a los materiales sobrantes o desechados que se generan durante actividades de construcción, demolición o renovación de edificaciones. Estos residuos pueden incluir hormigón, madera, metal, vidrio, plástico, entre otros materiales utilizados en la construcción
Li et al., [24]	2024	Se definen como los desechos generados en los sitios de construcción durante proyectos de ingeniería a gran escala y el desarrollo urbano.
Oluleye et al., [25]	2023	Los residuos de construcción son los materiales residuales de propagan de las actividades de edificaciones, derrumbe, reforma o desmantelamiento de edificaciones en la industria de la construcción.
Meng et al., [26]	2023	Los residuos de construcción se son los materiales residuales, se propagan durante las actividades de cimentación, derribado o renovación de edificaciones.
Papamichael et al., [27]	2023	Todos los residuos que provienen de actividades de construcción, como escombros, amianto y placas de yeso.
Kashkash et al., [28]	2023	Definido en este estudio como los materiales resultantes de la demolición de un edificio de 25 pisos en Pécs, Hungría en 2016
Hernández et al., [29]	2023	Los residuos de construcción se consideran como una fuente potencial de áridos reciclados para la producción de hormigón. Al reciclar estos materiales de desecho y utilizarlos como áridos en la

		mezcla de hormigón, se busca disminuir el trasporte enviados a vertederos y promover prácticas de construcción sostenible en el tiempo.
Nawaz et al., [31]	2023	Se refieren a los materiales descartados durante la construcción, restauración y demolición de edificaciones. Estos residuos representan una de las corrientes de desechos más importantes a nivel mundial, siendo responsables de aproximadamente el 35% de los residuos generados a nivel global.

Los métodos innovadores para mejorar la calidad de los materiales reciclados obtenidos de residuos de construcción han mostrado avances significativos en la optimización de su uso en nuevas construcciones. Estos enfoques incluyen tecnologías avanzadas de separación, pretratamiento y procesos de reciclaje que no solo mejoran la consistencia y durabilidad de los materiales, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental y económica del sector. Los resultados destacan cómo la implementación de estas tecnologías puede transformar los residuos en recursos de alta calidad, adecuados para aplicaciones exigentes en la industria de la construcción.

TABLA 2
MÉTODOS INNOVADORES PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS MATERIALES RECICLADOS OBTENIDOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.

Autores	Año	Métodos innovadores
Mhlanga et al., [12]	2024	Tecnologías de separación por sensores. Tecnologías de separación por aire. Tecnologías de separación magnética.
Wu et al., [13]	2020	No mencionan.
Tupenaite et al., [14]	2023	Utilización de residuos de madera en la producción de bioconcretos.
Misopoulos et al., [15]	2023	Separación por densidad, la clasificación óptica, la separación magnética y la tecnología de sensores
Al Salaheen et al., [16]	2022	Nanotecnología. Integración de materiales a escala nanométrica, como nano-sílice y nano-TiO2, Carbonatación.
Yang et al., [17]	2023	Tecnología blockchain.
Zhang et al., [18]	2023	Tecnologías automatizadas. separación mediante sensores, la clasificación óptica. Separación magnética, Técnicas de purificación Uso de aditivos y tratamientos químicos.
De Lara & Penteado, [19]	2023	Sensores ópticos y Sistemas de separación por aire. Trituración y molienda. Se aplican técnicas de lavado, separación magnética, flotación y otros métodos de limpieza.
		Investigación de nuevos materiales compuestos.
Shivaprasad et al., [20]	2024	Activación mecánica. Activación química. Tratamiento térmico. Separación magnética.
Čantrak et al., [21]	2024	Separación por densidad, Separación magnética y Separación óptica Trituración y molienda controladas. Tecnologías de limpieza y lavado. Procesos de estabilización y modificación
Bektaș & Shmlls, [22]	2024	Sustitución de agregados naturales por agregados reciclados.
Wu et al., [23]	2024	Se emplean tecnologías como la separación por densidad, magnética, por corrientes de Foucault y óptica. Procesamiento especializado de trituración y molienda. Técnicas de lavado, limpieza química y purificación. Tecnologías de refuerzo y modificación.
Li et al., [24]	2024	Separación por sensores, la separación magnética y la separación por densidad. Procesos de trituración y molienda. Técnicas de purificación y tratamiento. Investigación en nuevos materiales.
Oluleye et al., [25]	2023	Se emplean tecnologías como la visión por computadora y el aprendizaje automático Análisis de ciclo de vida y diseño para el reciclaje. Incorporación de tecnologías de inteligencia artificial. Modelos predictivos: Se desarrollan modelos predictivos basados en algoritmos.
Meng et al., [26]	2023	Impresión 3D inteligente. Optimización de la topología estructural.
Papamichael et al., [27]	2023	separación por densidad, magnética y óptica. Los equipos avanzados de trituración y molienda controlada. Los procesos de purificación química. Se están desarrollando aditivos y modificadores.
Kashkash et al., [28]	2023	Tecnologías de pretratamiento lavado, trituración selectiva y separación de impurezas Modificaciones en la superficie de los agregados reciclados. Uso de tecnologías avanzadas de reciclaje. separación por densidad, magnética.
Hernández et al., [29]	2023	Tecnologías sofisticadas como sensores ópticos, separadores de aire y magnéticos. Trituración y cribado. Lavado avanzado. Estabilización química. Aditivos específicos
X. Zhang et al., [30]	2023	Separación y clasificación avanzada Trituración y cribado Lavado avanzado Estabilización química Aditivos específicos
Nawaz et al., [31]	2023	Sistemas de información de construcción (BIM).

La gestión y el reciclaje de residuos de construcción están experimentando transformaciones clave debido a la adopción de nuevas tecnologías y enfoques más sostenibles. Esta comparación de métodos, su impacto ambiental y sus tendencias emergentes muestra cómo los avances en reciclaje yla implementación de prácticas circulares no solo optimizan los recursos, sino que también reducen los desechos y las emisiones. Las tendencias actuales reflejan un cambio hacia un enfoque más responsable y eficiente, donde la calidad de los materiales reciclados y la sostenibilidad ambiental se han convertido en factores determinantes para el futuro de la industria de la construcción.

TABLA 3
COMPARACIÓN, IMPACTO Y TENDENCIA EN LA GESTIÓN Y EL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN.

Autores	Comparación	Impacto	Tendencia
Mhlanga et al., [12]	Las tecnologías avanzadas mejoran la calidad de los materiales desechados y reducen residuos en vertederos.	Disminuyen residuos enviados a vertederos, fomentando la reutilización del material.	Nuevas tendencias relacionadas con administración eficiente de residuos cimentaciones están surgiendo.
Wu et al., [13]	La Dinámica de Sistemas proporciona beneficios en eficiencia, calidad y sostenibilidad en la gestión de residuos.	Permite evaluar impacto ambiental y viabilidad económica en gestión de residuos.	Aplicación creciente de Dinámica de Sistemas en gestión y reciclaje emergente.
Tupenaite et al., [14]	Enfoques innovadores promueven la circularidad y mejoran la calidad de los materiales reciclados.	Impacto positivo al reducir generación de desechos y huella de carbono.	Se observa un enfoque creciente en reutilización para minimizar el impacto ambiental.
Misopoulos et al., [15]	Disminuyen el uso de materias primas y reducen la huella ambiental en la industria.	Ofrecen viabilidad económica al promover prácticas sostenibles y eficientes.	Interés creciente en valorizar residuos como recursos valiosos es notable.
Al Salaheen et al., [16]	El curado con CO2 mejora la durabilidad y reduce la porosidad de los materiales reciclados.	Mejoran evaluación del ciclo de vida y reducen costos operativos.	Aumento en adopción generalizada por su capacidad para reducir desechos es evidente
Yang et al., [17]	Los enfoques que priorizan la reutilización contribuyente a una economía más circular.	La viabilidad económica varía según los costos de procesamiento y la demanda del mercado.	Creciente interés en economía circular refleja un enfoque sostenible emergente.
N. Zhang et al., [18]	Tecnologías avanzadas producen materiales reciclados de mayor calidad y reducen residuos.	Impacto positivo en medio ambiente, disminuyendo desechos en vertederos.	Métodos que priorizan la conservación están siendo adoptados por mercados emergentes.
De Lara & Penteado, [19]	La separación por sensores mejora la gestión sostenible y reduce la contaminación.	Impacto ambiental significativo según método utilizado, variando costos económicos.	Políticas más estrictas promueven prácticas sostenibles, reflejando tendencias emergentes.
Shivaprasad et al., [20]	Comparan enfoques que mejoran pureza y propiedades de materiales, promoviendo la sostenibilidad.	Generan ingresos mediante reducción de costos asociados a nuevos materiales.	Desarrollo hacia una economía verde está impulsando nuevas tendencias en el sector construcción.
Čantrak et al., [21]	Enfoques que utilizan tecnología avanzada maximizan la recuperación de materiales valiosos.	Impacto positivo en sostenibilidad, con ahorros significativos en costos constructivos.	Nuevos modelos basados en economía circular están surgiendo dentro del mercado reciclado.
Bektaş & Shmlls, [22]	Evaluación de reducción de emisiones y conservación de recursos naturales mejora eficiencia.	Utilización de agregados reciclados mejora calidad y sostenibilidad del sector construcción.	El aumento en adopción tecnológica refleja un cambio hacia prácticas más sostenibles.
Wu et al., [23]	El reciclaje mecánico es más económico, mientras que el químico produce materiales de alta calidad.	El reciclaje mecánico reduce residuos; el químico produce materiales recuperados costosos pero valiosos.	Se observa un interés creciente por implementar estrategias que reduzcan emisiones.
Li et al., [24]	Enfoques innovadores promueven la sostenibilidad al reducir residuos y mejorar la calidad.	Proyectos hacia la neutralidad de carbono impulsan la viabilidad económica en reciclaje.	Se destaca el interés creciente por tecnologías que optimizan el uso sostenible del cemento.
Oluleye et al., [25]	Técnicas avanzadas mejoran calidad y pureza, aumentando valor en reutilización.	Oportunidades económicas surgen con nuevos mercados para materiales reciclados.	Nuevas regulaciones están impulsando prácticas más responsables dentro del sector construcción
Meng et al., [26]	Impresión 3D reduce emisiones y mejora eficiencia en gestión de residuos industriales.	Mejora significativa en calidad mediante optimización estructural reducir emisiones ambientales.	El aumento en la demanda de materiales reciclados está transformando el mercado constructivo.
Papamichael et al., [27]	Tecnologías innovadoras mejoran	Tecnologías innovadoras favorecen la	Se observa un interés creciente por soluciones

	eficiencia y reducen emisiones en construcción.	viabilidad económica mediante reducción de costos asociados a tecnologías avanzadas.	innovadoras que favorecen el reciclaje.
Kashkash et al., [28]	Estos enfoques reducen desechos, mejoran materiales reciclados, fomentan la economía circular y promueven prácticas sostenibles en la gestión de residuos	El reciclaje de residuos de construcción reduce desechos, emisiones y extracción de recursos, genera ahorros económicos y mejora la calidad de los materiales reciclados, haciendo aptos para concreto de alta calidad	Mayor demanda de materiales reciclados, avances tecnológicos y políticas que promueven la sostenibilidad.
Hernández et al., [29]	Los enfoques más beneficiosos equilibran la eficiencia, la calidad de los materiales, la sostenibilidad y la viabilidad económica	Los reciclajes avanzados reducen residuos, mejoran la calidad y promueven la economía circular	Mayor conciencia ambiental, tecnologías innovadoras y un enfoque en la optimización de recursos y sostenibilidad.
X. Zhang et al., [30]	Los métodos de reciclaje varían en eficiencia, calidad y sostenibilidad, influyendo en su viabilidad económica y ambiental. Es crucial evaluar costos y beneficios para determinar su adopción a largo plazo en la industria	El reciclaje tradicional reduce desechos y la extracción de recursos, mientras que las tecnologías avanzadas mejoran eficiencia y calidad, aunque pueden ser más costosas. La viabilidad económica depende del enfoque utilizado.	Conciencia ambiental y la sostenibilidad en la gestión de residuos de construcción, promoviendo reciclaje eficiente, tecnologías innovadoras y economía circular.
Nawaz et al., [31]	Algunos métodos de reciclaje son más eficientes al recuperar materiales valiosos, mejorar la calidad y promover la sostenibilidad ambiental	Reducen residuos, emisiones y la extracción de recursos, mientras que la viabilidad económica depende de los costos de procesamiento.	Prácticas sostenibles, tecnologías innovadoras y la economía circular, lo que refleja un cambio hacia una gestión más responsable de los residuos de construcción

En el contexto de economías en desarrollo, Kedir et al. [34] examinan los desafíos en la implementación de la construcción industrializada como una solución estratégica para mejorar la eficiencia de recursos, especialmente en el suministro de viviendas. Este estudio también identifica vacíos en laliteratura, proponiendo áreas clave para futuras investigaciones.

Se ofrece una perspectiva global, enfatizando la importancia de integrar la economía circular en la gestión de RCD [19]. Este enfoque incluye prácticas sostenibles y la valorización de residuos como recursos, aspectos esenciales para reducir el impacto ambiental y mejorar la viabilidad económica en el sector de la construcción. Mahoma y otros. [35], por su parte, destacan el papel crítico de las políticas públicas como mediadoras en la relación entre la generación y la minimización de residuos, subrayando cómo un marco normativo sólido puede impulsar prácticas más sostenibles en la industria.

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio resaltan la creciente adopción de tecnologías avanzadas y enfoques sistemáticos para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). Este campo está experimentando avances significativos que combinan la

En una perspectiva más amplia, presentan estudios de caso internacionales que examinan enfoques innovadores para la gestión de RCD. Su análisis enfatiza la importancia de reducir los residuos y mejorar la sostenibilidad ambiental mediante estrategias basadas en datos cuantitativos y cualitativos [21]. Además, Borbón-Gálvez et al. [36] identifican el impacto del transporte en la gestión de RCD, proponiendo mecanismos e incentivos que promuevan prácticas sostenibles en este ámbito clave sostenibilidad ambiental, la viabilidad económica y la innovación tecnológica, como se refleja en los estudios revisados.

Se presenta un análisis integral de la gestión y reciclaje de residuos en África, subrayando las tendencias emergentes y estrategias innovadoras que están transformando la industria [12]. En particular, destacan cómo la introducción de tecnologías avanzadas de separación ha contribuido a mejorar significativamente la calidad de los materiales recuperados, reforzando el papel de la innovación tecnológica en la transición hacia una economía circular en el sector de la construcción. Este análisis demuestra el potencial transformador que tienen las soluciones tecnológicas en la gestión de residuos, particularmente en contextos con infraestructuras limitadas, donde las estrategias avanzadas pueden marcar una diferencia sustancial.

Por otro lado, [32] desarrollan un enfoque técnico innovador mediante el uso de espectroscopia Raman y SWIR, tecnologías que permiten la cuantificación precisa de materiales mixtos en los residuos. Este avance no solo facilita la clasificación de materiales, sino que también sienta las bases para una industria cerámica más sostenible, al mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental asociado con la extracción y el procesamiento de materias primas. La implementación de estas tecnologías ofrece un ejemplo claro de cómo la innovación técnica puede ser aplicada directamente en procesos industriales para maximizar la sostenibilidad.

Complementariamente, Gonçalves et al. [33] enfatizan la importancia de la cooperación intermunicipal a través de consorcios como una estrategia clave para la gestión eficiente

de residuos. Los beneficios económicos y ambientales que surgen de estas alianzas subrayan la necesidad de modelos colaborativos en la gestión de residuos, especialmente en regiones donde la infraestructura fragmentada representa un obstáculo para la implementación de soluciones integradas. Esta perspectiva demuestra que las alianzas estratégicas no solo son viables, sino que pueden ser una pieza fundamental en el diseño de sistemas de reciclaje más sostenibles y eficaces.

Se aporta una perspectiva única mediante la aplicación de la Dinámica de Sistemas a la gestión de RCD [13]. Este enfoque permite abordar la complejidad inherente al sector de la construcción, proporcionando una visión holística que integra múltiples variables y relaciones interdependientes. Al optimizar procesos y promover la productividad, la Dinámica de Sistemas no solo mejora la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas en un sector caracterizado por su alta variabilidad y retos multifacéticos.

Diversos casos de estudio evidencian el potencial de estas tecnologías en contextos reales. Por ejemplo, en São Paulo (Brasil), la implementación de sensores ópticos para separar agregados reciclados en una planta piloto aumentó en un 30% la eficiencia del reciclaje y redujo el volumen de residuos en vertederos [19]. En México, el uso de agregados 100% reciclados permitió fabricar concreto no estructural con resistencias superiores a 250 kg/cm², demostrando viabilidad técnica y económica [9]. En China, programas piloto que integran BIM y algoritmos de aprendizaje automático han optimizado la clasificación de RCD, mejorando la calidad de los materiales reciclados para su uso en nuevas edificaciones [25]. Estos ejemplos demuestran la aplicabilidad de los métodos analizados.

En conjunto, estos estudios destacan cómo la combinación de innovación tecnológica, cooperación estratégica y enfoques sistémicos puede transformar significativamente la gestión de residuos de construcción y demolición. La integración de estas perspectivas refuerza la necesidad de enfoques multidisciplinarios y colaborativos para superar los desafíos actuales del sector, maximizando tanto los beneficios económicos como los ambientales en el camino hacia un modelo de economía circular sostenible.

Finalmente, se abordan temas esenciales como las tecnologías de reciclaje de vanguardia y los aspectos socioeconómicos de las plantas de reciclaje [28], [37], se destacan tendencias emergentes del mercado y la calidad de los materiales reciclados, Brum et al. presentan un análisis detallado que abarca desde la clasificación de residuos hasta la creación de empleos y la evaluación económica. Este enfoque holístico demuestra cómo las plantas de reciclaje pueden ser instrumentos efectivos para la sostenibilidad y el desarrollo social.

V. CONCLUSIONES

La gestión sostenible de los residuos de construcción y demolición (RCD) representa un desafío crucial en la transición hacia un modelo de economía circular dentro de la industria de la construcción. Este estudio pone en evidencia la relevancia de implementar tecnologías innovadoras, como la separación óptica y magnética, el reciclaje mecánico y químico, y la incorporación de impresión 3D, para optimizar tanto la eficiencia como la calidad de los materiales recuperados. Estas innovaciones, alineadas con los principios de la economía circular, permiten no solo minimizar el impacto ambiental, sino también maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

El éxito de estas estrategias depende de la interacción activa entre gobiernos, empresas, instituciones de investigación y comunidades locales. Para ello, las políticas regulatorias deben desempeñar un papel clave al incentivar el uso de materiales reciclados y fomentar prácticas sostenibles en toda la cadena de valor de la construcción. Asimismo, resulta indispensable promover la inversión en investigación y desarrollo para mejorar las tecnologías actuales y garantizar su implementación efectiva en diversos contextos geográficos y económicos.

Paralelamente, se destaca la integración de enfoques sistémicos, como la Dinámica de Sistemas, para gestionar de manera integral los flujos de residuos, analizar los impactos y maximizar los beneficios económicos y ambientales. La consolidación de mercados emergentes que valoren los RCD como recursos renovables abre nuevas oportunidades para la innovación, la generación de empleo y el crecimiento sostenible en el sector.

La economía circular se presenta como un marco estratégico efectivo para reducir el consumo de recursos, minimizar la generación de residuos y fomentar la reutilización de materiales en la construcción. Sin embargo, para implementar con éxito estos principios, es necesario establecer políticas sólidas, fomentar la innovación tecnológica y promover una colaboración estrecha entre todos los actores involucrados. Adoptar prácticas basadas en la economía circular puede generar beneficios significativos no solo a nivel ambiental, sino también en términos económicos y sociales, contribuyendo al desarrollo sostenible de la industria de la construcción.

El uso de materiales de construcción sostenibles, como madera, concreto reciclado y materiales con bajo contenido de carbono, puede reducir considerablemente el impacto ambiental de la construcción. Es necesario realizar más investigaciones y desarrollos para mejorar la calidad, la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de estos materiales. Además, promover su uso mediante regulaciones, incentivos y educación es crucial para su adopción generalizada. Las tecnologías innovadoras, como la impresión 3D, la robótica, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, tienen el potencial de revolucionar la industria de la construcción hacia prácticas más sostenibles y eficientes. Se requiere una mayor inversión en investigación y desarrollo para implementar estas tecnologías a gran escala y maximizar su impacto positivo en el medio ambiente. Asimismo, es esencial evaluar cuidadosamente el impacto ambiental y social de estas tecnologías para asegurar su adopción responsable.

Las políticas y regulaciones gubernamentales son fundamentales para fomentar la adopción de prácticas de construcción sostenibles y reducir el impacto ambiental de la industria. Es necesario implementar políticas que incentivan el uso de materiales sostenibles, la eficiencia energética en los

edificios y la gestión responsable de los residuos de construcción y demolición. La colaboración entre gobiernos, industria y academia es crucial para desarrollar e implementar políticas efectivas. La investigación continúa es vital para el desarrollo de nuevas tecnologías, materiales y estrategias que promuevan una construcción más sostenible. La colaboración entre investigadores, profesionales de la industria y responsables políticos es esencial para abordar los desafíos de la sostenibilidad en la construcción de manera efectiva. Además, el intercambio de conocimientos y experiencias entre diferentes países y regiones puede acelerar el progreso hacia una industria de la construcción más sostenible a nivel global.

VI. REFERENCIAS

[1] M. N. Rojas-Valencia, B. I. Rivas-Torres, D. Y. Fernández-Rojas, and J. M. Gómez-Soberón, "Recovery of Mixtures of Construction Waste, PET and Sugarcane Bagasse for the Manufacture of Partition Blocks," *Materials*, vol. 15, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/ma15196836.

[2] S. S. Suárez Silgado, L. J. Calderon Valdiviezo, and L. F. Mahecha Vanegas, "Application of life cycle assessment (LCA) methodology and economic evaluation for construction and demolition waste: a Colombian case study," *Earth Sciences Research Journal*, vol. 25, no. 3, pp. 341–351, Oct. 2021, doi: 10.15446/esrj.v25n3.82815.

[3] L. M. Díaz Caselles and J. Guevara, "Sustainability Performance in On-Site Construction Processes: A Systematic Literature Review," Feb. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su16031047.

[4] C. Díaz-López, A. Bonoli, M. Martín-Morales, and M. Zamorano, "Analysis of the scientific evolution of the circular economy applied to construction and demolition waste," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/su13169416.

[5] R. F. Ercoli, V. R. da S. Matias, and V. C. P. Zago, "Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil," *Front Environ Sci*, vol. 8, Jun. 2020, doi: 10.3389/fenvs.2020.00052.

[6] B. C. Guerra, F. Leite, and K. M. Faust, "4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams," *Waste Management*, vol. 116, pp. 79–90, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.07.035.

[7] S. Shooshtarian, S. Caldera, T. Maqsood, and T. Ryley, "Evaluating the COVID-19 impacts on the construction and demolition waste management and resource recovery industry: experience from the Australian built environment sector," *Clean Technol Environ Policy*, vol. 24, no. 10, pp. 3199–3212, Dec. 2022, doi: 10.1007/s10098-022-02412-z.

[8] T. Dalton *et al.*, "From the AHURI Inquiry: Inquiry into housing in a circular economy Building materials in a circular economy Title Building materials in a circular economy," 2023.doi:10.18408/ahuri5328401.

[9] M. Bucio y A. Flores, «Agregados finos de concreto reciclado y su influencia en concreto no estructural,» Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, vol. 10, nº 7, pp. 66-75, 2022.

[10] I. Mendoza y S. Chávez, «2017,» Revista de Ingeniería Civil, vol. 1, nº 2, pp. 9-14, 2017.

[11] D. Xuan, L. Houben, A. Molenaar y Z. Shui, «Mixture optimization of cement treated demolition waste with recycled masonry and concrete,» Materials and Structure, vol. 45, pp. 143-151, 2012.

[12] J. Mhlanga, T. C. Haupt, and C. Loggia, "Shaping circular economy in the built environment in Africa. A bibliometric analysis," Mar. 04, 2024, *Emerald Publishing*. doi: 10.1108/JEDT-03-2022-0175.

[13] Z. Wu, K. Yang, X. Lai, and M. F. Antwi-Afari, "A scientometric review of system dynamics applications in construction management research," Sep. 01, 2020, *MDPI*. doi: 10.3390/SU12187474

[14] L. Tupenaite, L. Kanapeckiene, J. Naimaviciene, A. Kaklauskas, and T. Gecys, "Timber Construction as a Solution to Climate Change: A Systematic Literature Review," Apr. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/buildings13040976.

[15] F. Misopoulos, V. Manthou, and Z. Michaelides, "Environmental and Social Sustainability in UK Construction Industry: a Systematic Literature Review," *European Journal of Economics and Business Studies*, vol. 5, no. 1, p. 100, Apr. 2019, doi: 10.26417/ejes.v5i1.p100-115.

[16] M. Al Salaheen, W. S. Alaloul, K. M. Alzubi, A. bahaa A. Malkawi, and M. A. Musarat, "Advancing waste-based construction materials through carbon dioxide curing: A comprehensive review," Dec. 01, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.rineng.2023.101591.

[17] Z. Yang, C. Zhu, Y. Zhu, and X. Li, "Blockchain technology in building environmental sustainability: A systematic literature review and future perspectives," Nov. 01, 2023, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110970.

[18] N. Zhang, K. Gruhler, and G. Schiller, "A review of spatial characteristics influencing circular economy in the built environment," Apr. 01, 2023, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s11356-023-26326-5.

[19] B. L. E. de Lara and C. S. G. Penteado, "Environmental assessment of construction waste prevention: A case study in a social housing project in Southeast Brazil," *Cleaner Waste Systems*, vol. 8, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.clwas.2024.100145.

[20] K. N. Shivaprasad, H. M. Yang, and J. K. Singh, "A path to carbon neutrality in construction: An overview of recent progress in recycled cement usage," *Journal of CO2 Utilization*, vol. 83, May 2024, doi: 10.1016/j.jcou.2024.102816.

[21] M. Čantrak, D. Micić, D. Prokić, L. Pezo, L. Ćurčić, and M. Mladenović, "Construction Waste Modeling for the

Republic of Serbia," *J Sci Ind Res (India)*, vol. 83, no. 5, pp. 557–566, May 2024, doi: 10.56042/jsir.v83i5.2474.

[22] N. Bektaş and M. Shmlls, "Earthquake-Induced Waste Repurposing: A Sustainable Solution for Post-Earthquake Debris Management in Urban Construction," *Buildings*, vol. 14, no. 4, Apr. 2024, doi: 10.3390/buildings14040948.

[23] Z. Wu, K. Yang, X. Lai, and M. F. Antwi-Afari, "A scientometric review of system dynamics applications in construction management research," Sep. 01, 2020, *MDPI*. doi: 10.3390/SU12187474.

[24] C. Z. Li, X. Ling, M. Jiang, and P. Xie, "Investigating Environmental Efficiency Upgrading Path of Construction Waste Based on Configuration Analysis," *Sustainability (Switzerland)* , vol. 16, no. 5, Mar. 2024, doi: 10.3390/su16051784.

[25] B. I. Oluleye, D. W. M. Chan, and P. Antwi-Afari, "Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry: A critical review," Jan. 01, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.spc.2022.12.002.

[26] Q. Meng, L. Hu, M. Li, and X. Qi, "Assessing the environmental impact of building life cycle: A carbon reduction strategy through innovative design, intelligent construction, and secondary utilization," *Developments in the Built Environment*, vol. 16, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.dibe.2023.100230

[27] I. Papamichael, I. Voukkali, P. Loizia, and A. A. Zorpas, "Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review," *Waste Management and Research*, vol. 41, no. 12, pp. 1728–1740, Dec. 2023, doi: 10.1177/0734242X231190804.

[28] S. Kashkash, O. Czoboly, and Z. Orban, "Effect of Moisture Condition and the Composition of Aggregate from Demolition Waste on Strength and Workability Properties of Recycled Concrete," *Buildings*, vol. 13, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/buildings13071870.

[29] H. Hernández, F. Ossio, and M. Silva, "Assessment of Sustainability and Efficiency Metrics in Modern Methods of Construction: A Case Study Using a Life Cycle Assessment Approach," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 7, Apr. 2023, doi: 10.3390/su15076267.

[30] X. Zhang, C. Dai, W. Li, and Y. Chen, "Prediction of compressive strength of recycled aggregate concrete using machine learning and Bayesian optimization methods," *Front Earth Sci (Lausanne)*, vol. 11, Feb. 2023, doi: 10.3389/feart.2023.1112105.

[31] A. Nawaz, J. Chen, and X. Su, "Exploring the trends in construction and demolition waste (C&DW) research: A scientometric analysis approach," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 55, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.seta.2022.102953.

[32] S. Marín-Cortés, M. Fernández-Álvarez, A. Moure, J. F. Fernández, and E. Enríquez, "Chemometric-driven quantification of construction and demolition waste using Raman spectroscopy and SWIR: Enhancing sustainability in the ceramic sector," *Resour Conserv Recycl*, vol. 199, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.resconrec.2023.107259.

[33] G. H. V. Gonçalves *et al.*, "Proposition and analysis of economic feasibility of scenarios for the management of construction waste through inter-municipal consortia," *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, vol. 28, 2023, doi: 10.1590/S1413-415220220255.

[34] F. Kedir, D. M. Hall, D. Ioannidou, T. Rupper, R. Boyd, and A. Hollberg, "Resource efficiency in industrialised construction: a study in developing economies," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, vol. 176, no. 2, pp. 94–105, Jan. 2023, doi: 10.1680/jensu.22.00048.

[35] M. Mohammed *et al.*, "The Mediating Role of Policy-Related Factors in the Relationship between Practice of Waste Generation and Sustainable Construction Waste Minimisation: PLS-SEM," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14020656.

[36] Y. Borbon-Galvez, S. Curi, F. Dallari, and G. Ghiringhelli, "International industrial symbiosis: Cross-border management of aggregates and construction and demolition waste between Italy and Switzerland," *Sustain Prod Consum*, vol. 25, pp. 312–324, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.spc.2020.09.004.

[37] E. M. Brum, A. Pandolfo, R. Berticelli, R. M. L. Kalil, and P. B. Pasquali, "Economic, social and environmental aspects of the sustainability of a construction waste recycling plant," *Gestao e Producao*, vol. 28, no. 3, 2021, doi: 10.1590/1806-9649-2021V28E5120.