

# Environmental impact in relation to the use of solid waste in the construction and mining sectors in the years 2019-2024

Burga-Lopez Parker David, Student.<sup>1</sup> , Castañeda- Pérez Josue Alonso, Student.<sup>2</sup>    
Sotomayor Nunura Gioconda del Socorro, Dra.<sup>3</sup> , and Bustamante Nuñez Yasser Ruben, Mg.<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U21227608@utp.edu.pe, U17105613@utp.edu.pe, C24127@utp.edu.pe, C20184@utp.edu.pe

## *Abstract*

This systematic literature review article is focuses on environmental impact based on Scopus and other databases.

The use of solid waste in construction industries such as the recycling of concrete, asphalt, wood and metal materials not only minimizes the volume of waste that reaches landfills, but also reduces the need to extract and process new resources. Likewise, in mining, the reuse of materials and the recycling of precious metals and other minerals contribute to a more circular economy, reducing dependence on the extraction of natural resources and reducing the carbon emissions associated with these processes. The implementation of advanced technologies and the adoption of strict environmental policies are essential to optimize waste management in these sectors.

It is concluded that the mining and construction sectors have a crucial practice to promote sustainability and reduce environmental impact.

Key word: Utilization, solid waste, technologies, construction, mining.

# Impacto ambiental en relación con el aprovechamiento de residuos sólidos en los sectores de construcción y minería en los años 2019-2024

Burga-Lopez Parker David, Estudiante,<sup>1</sup>  Castañeda- Pérez Josue Alonso, Estudiante.<sup>2</sup>    
Sotomayor Nunura Gioconda del Socorro, Dra.<sup>3</sup> , y Bustamante Nuñez Yasser Ruben, Mg.<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U21227608@utp.edu.pe, U17105613@utp.edu.pe, C24127@utp.edu.pe, C20184@utp.edu.pe

## Resumen –

*El presente artículo de revisión sistemática de literatura está centrado en el impacto ambiental basado en base Scopus y otras.*

*El aprovechamiento de residuos sólidos en las industrias de construcción como el reciclaje de materiales del concreto, asfalto, madera y metales no solo minimizan el volumen de residuos que llegan a los vertederos, sino que también reduce la necesidad de extraer y procesar nuevos recursos. De igual manera, en la minería, la reutilización de materiales y el reciclaje de metales preciosos y otros minerales contribuyen a una economía más circular, disminuyendo la dependencia de la extracción de recursos naturales y reduciendo las emisiones de carbono asociadas con estos procesos. La implementación de tecnologías avanzadas y la adopción de políticas ambientales estrictas son esenciales para optimizar la gestión de residuos en estos sectores.*

*Se concluye que los sectores de la minería y construcción tiene una práctica crucial para fomentar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental.*

**Palabras clave:** *Aprovechamiento, residuos sólidos, tecnologías, construcción, minería.*

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo se generan miles de residuos sólidos del sector industrial que conlleva a daños significativos para el medio ambiente ocasionando deterioros irreversibles. Por ello, se desarrollan diferentes estrategias para reducir estos impactos ambientales [1], de hecho, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus 17 objetivos pretende lograr ciudades sostenibles con miras al objetivo de “cero residuos” [2]; según estudios realizados se estima que para el año 2025 la producción global de residuos sólidos será de 1.300 a 2.200 millones de toneladas por año, al tener estas elevadas cantidades de residuos se necesitan procesos de aprovechamiento [3]. Por consiguiente, se genera la necesidad de la transformación de los residuos sólidos en posible nuevas tecnologías renovables, serian alternativas sostenibles [4]. No obstante; los vertederos mal gestionados generan un problema grave, ya que los lixiviados resultantes, contaminan la corteza terrestre y el agua subterránea,

afectando negativamente a diversas formas de vida. Estos residuos sólidos contienen diversos metales que pueden causar una contaminación severa; estos metales, se producen como resultado de actividades industriales, lo que plantea una seria preocupación ambiental en la actualidad. [5]. Por ende, es importante los enfoques como el reciclaje, la reutilización, el vertido y la incineración están disponibles en la gestión de residuos sólidos [6] Ante ello, la investigación se orienta en dar respuesta a la siguiente interrogante. “¿Cuál es el impacto ambiental generado por residuos sólidos enfocados al aprovechamiento e implementación de estrategias en los sectores industriales, construcción y minera, considerando los índices de contaminación ambiental, en espacios medioambientales para obtener resultados efectivos de medición utilizados? “De esta manera, se ha considerado nuestro objetivo general con respecto de determinar el efecto de las ineficiencias del manejo de los residuos sólidos a partir de la literatura durante 2019-2024, y los objetivos planteados son: Identificar la gestión de los residuos sólidos emitido en los distintos tipos de sectores industriales, construcción y minera enfatizando analizar prácticas del proceso de reutilización de los residuos sólidos en las empresas industriales seleccionadas, a la vez evaluar el impacto ambiental generado en el medio ambiente y sus métodos de gestión de residuos sólidos.

## II. METODOLOGÍA

En este artículo de revisión sistemática se ha empleado una metodología rigurosa para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, aspectos cruciales en el proceso de investigación. Primero, se realizó una revisión de la literatura existente sobre el manejo de residuos sólidos industriales y su impacto ambiental, basada en la declaración Prisma, que ha trazado las pautas hacia el tema presentado.[7]

En el enfoque de búsqueda de información, la revisión incluyó artículos académicos de distintas fuentes, como Scopus y ScienceDirect, especializadas en medio ambiente y gestión de residuos sólidos. La revisión bibliográfica permitió contextualizar la investigación dentro del marco teórico y práctico actual, identificando las brechas y áreas de oportunidad que el estudio pretende abordar. Para facilitar la

búsqueda de información, se emplearon palabras clave en la sección de búsqueda de las páginas descritas anteriormente: "residuos sólidos industriales", "aprovechamiento" e "impacto ambiental". Asimismo, se utilizaron los conectores "OR" y "AND" para enfatizar y seleccionar más específicamente como se muestra en la Fig. 1.

"¿Cuál es el impacto ambiental generado por residuos sólidos enfocados al aprovechamiento e implementación de estrategias en los sectores industriales, construcción y minera, considerando los índices de contaminación ambiental, en espacios medioambientales para obtener resultados efectivos de medición utilizados?"			
P	I	C	O
RQ1: ¿Cómo se ha definido el índice de contaminación ambiental en el sector industrial?	RQ2: ¿En qué espacios medioambientales se han generado muestras?	RQ3: ¿Qué estrategias se han implementado para el aprovechamiento de residuos sólidos?	RQ4: ¿Qué resultados efectivos se han comparado con la aplicación de los métodos cuestionados en la medición?
Residuos Sólidos Industriales	Índices de residuos medioambientales	Estrategias y métodos de aprovechamiento de residuos industriales	Resultados efectivos de medición/ Eficiencia
"Solid waste", "environmental waste" "environmental impact" "Solid waste", "environmental waste" "environmental impact" "Solid waste", "environmental waste" "environmental impact"	"waste indices", "Waste studies" "waste management" "industrial sector"	"Waste management", "exploitation methods" "industrial waste utilization"	"Measurement results" "effective measurement" "evaluation of results"
"Solid waste" OR "environmental waste" OR "environmental impact" AND "waste indices" OR "Waste studies" OR "waste management" OR "industrial sector" OR "Waste management"			

Fig. 1. Ecuación de búsqueda a base de la metodología Pico

#### Búsqueda de sistemática:

En cuanto a los criterios empleados de selección, se filtraron artículos de acuerdo al periodo elegido, teniendo en cuenta los artículos publicados entre los años 2019-2024. Se realizó otro filtro de selección determinando el idioma a utilizar, tomando en consideración dos idiomas: inglés y español. Esto resultó en la selección de 37 artículos que tienen una relación enfática con el tema y el artículo planteado sobre el aprovechamiento de residuos sólidos en las empresas industriales.

Las exploraciones se dieron en la nube de Scopus. Se realizó una búsqueda, utilizándose palabras claves obtenidas en la pregunta PICO. En la Fig. 2 se muestra el modelo prisma y los pasos que se realizaron.

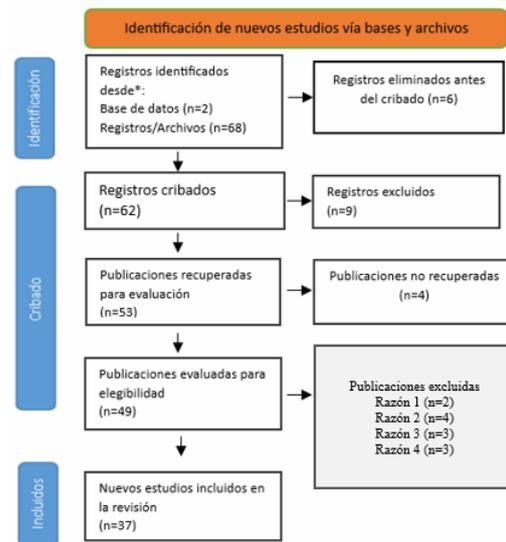


Fig.2 Elaboracion del diagrama flujo Prisma.

#### Búsqueda Manual

En la tabla I, Se ejecutó una indagación de información en Scopus y ScienceDirect, tomando como referencia las divulgaciones realizadas desde 2019 hasta 2024. De la búsqueda, los estudios que no cumplieron los criterios fueron eliminados.

TABLA I  
CRITERIOS EMPLEADOS PARA LA SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

ITEM	DESCRIPCION
Tema	Impacto ambiental en relación al aprovechamiento de residuos sólidos en empresas industriales.
Palabras clave utilizada	"Solid Waste", "Exploitation", "Reuse", "Evaluation program", "Sustainable Development"
Periodo de selección	2019-2024
Base de datos	Scopus y ScienceDirect

#### A. Resultados bibliométricos de la revisión sistemática

### III. RESULTADOS

Se presentan los documentos seleccionados para la elaboración de la revisión sistemática. En la Tabla II, se evidencian los nombres de los autores y los títulos de cada uno de los estudios seleccionados, los cuales se desarrollaron referente a la variable de estudio. Para la clasificación de los documentos y las referencias se utilizó el gestor Mendeley.

**TABLA II**  
**INVESTIGACIONES SELECCIONADAS DE ARTÍCULOS**  
**CIENTÍFICOS**

Autor	Título
Reyes, Dnitza Dadić; Reátegui, Andrea Isabel Sánchez; Muñoz, Haniel Solís; Ilich, Llaque - Fernández Grant; Walter, Valderrama- Puscan Marlon; Alicia, Calvanapón - Alva Flor.[1]	Environmental impact of a design for a solid waste plant in the Francisco Morales Bermúdez market
Farfán Torres, Paula Andrea; Ortega Ramírez, Angie Tatiana. [2]	Review of mechanisms for energy valorization for urban solid waste case: Doña Juana sanitary landfill
Mejía-de-Gutiérrez, Ruby ; Robayo-Salazar, Rafael ; Valencia-Saavedra ; William. [3]	Construction and demolition waste as raw material for concrete and construction elements obtained through alkaline activation
Byers, Brandon S; Raghu, Deepika; Olumo, Adama; De Wolf, Catherine; Haas, Carl[4]	Recycling, reusing and environmental safety of industrial by-product gypsum in construction and building materials
Suman Khanra; Anup Jana; Tanushree Samanta; Sagarika Mukhopadhyay. [5]	A detailed study of the physicochemical parameters of the solid waste dumping grounds adjoining densely populated areas: A case study in India.
Valizabeh, Behzad ; Abdoli, Mohammad Ali ; Dobaradaran, Sina ; Mahmoudkhani, Rouhalla ; Asl, Yousef Abdossalami.[6]	Risk control of heavy metal in waste incinerator ash by available solidification scenarios in cement production based on waste flow analysis
Page, Matthew J ; McKenzie, Joanne E ; Bossuyt, Patrick M ; Boutron, Isabelle ; Hoffmann, Tammy C ; Mulrow, Cynthia D ; Shamsseer, Larissa ; Tetzlaff, jennifer M ; Akl, Elie A ; Bremmam, Sue E ; Chou, Roger ; Glanville, Julie.[7]	The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews
Wong, Tracy Leh Xin ; Mohd Hasan, Mohd Rosli ; Peng, Leo Choe. [8]	Recent development, utilization, treatment and performance of solid wastes additives in asphaltic concrete worldwide: A review
Palewatta, Shiran ; Weerasooriyagedara, Madara ; Bordoloi, Sanandam ; Sarmah, Ajit K.[9]	Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal
Jinjun Xu;Yi Liu;Alessandra Simi;Ji Zhang [10]	Recycling and reuse of construction and demolition waste: From the perspective of national natural science foundation-supported research and research-driven application
Gulden Gumusburun Ayalp, Merve Anaç .[11]	A comprehensive analysis of the barriers to effective construction and demolition waste management: A bibliometric approach.

Zhang, Duhan ; Wang, Michael; Coppeters 't Wallant, Sophie; Zhang, Sonia; Chiang, Yet-Ming[12]	Toward zero-waste resource recovery from municipal solid waste incineration ash by electrochemical and chemical mining
Pallewatta, Shiran; Weerasooriyagedara, Madara; Bordoloi, Sanandam; Sarmah, Ajit K; Vithanage, Meththika [13]	Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal
Silva Ramos, Lucas Thadeu da; de Azevedo, Rogério Cabral; Silva Bezerra, Augusto Cesar da; do Amaral, Leo Maia; Oliveira, Raquel Diniz [14]	Iron ore tailings as a new product: A review-based analysis of its potential incorporation capacity by the construction sector
Tejaswini M.S.S.R.; Pathak, Pankaj; Gupta D.K.[15]	Sustainable approach for valorization of solid wastes as a secondary resource through urban mining
Farzin Naghibalsadati , Arash Gitifar , Sagar Ray , Amy Richter , Kelvin Tsun Wai Ng [16]	Temporal evolution and thematic shifts in sustainable construction and demolition waste management through building information modeling technologies: A text-mining analysis
Fu, Shuting; Lee, Jechan [17]	Recycling of ceramic tile waste into construction materials
Byers, Brandon S; Raghu, Deepika; Olumo, Adama; De Wolf, Catherine; Haas, Carl [18]	From research to practice: A review on technologies for addressing the information gap for building material reuse in circular construction
Wang, Jiayuan; Wu, Huanyu; Tam, Vivian W.Y, Zuo, Jian [19]	Considering life-cycle environmental impacts and society's willingness for optimizing construction and demolition waste management fee: An empirical study of China.
Fu, Shuting; Lee, Jechan [20]	Recycling of ceramic tile waste into construction materials
Alhawati, Musab; Ashour Ashraf; Yildirim Gurkan; Aldemir Alper; Sahmaran Mustafa [21]	Properties of geopolymers sourced from construction and demolition waste: A review
García Gilberto; Cabrera, René; Rolón Julio; Pichardo Roberto; Thomas Carlos [22]	García, Gilberto a; Cabrera, René a Send mail to Cabrera R.; Rolón, Julio a; Pichardo, Roberto a; Thomas, Carlos
Paula Junior, Adilson C.; Jacinto, Cláudia; Turco, Chiara; Fernandes, Jorge; Teixeira, Elisabete; Mateus, Ricardo [23]	Analysis of the effect of incorporating construction and demolition waste on the environmental and mechanical performance of earth-based mixtures
Rostek, Leon; Pirard, Eric; Loibl, Antonia [24]	The future availability of zinc: Potential contributions from recycling and necessary ones from mining
Yıldız, Taşkın Deniz; Güner, Mehmet Oğuz; Kural, Orhan[25]	Effects of EU-Compliant mining waste regulation on Turkish

	mining sector: A review of characterization, classification, storage, management, recovery of mineral wastes
Kusin, Faradiella Mohd; Syed Hasan, Sharifah Nur Munirah; Molahid, Verma Loretta M; Soomro, Muhammad Hameer [26]	Dual adoption opportunities and prospects for mining and industrial waste recovery through an integrated carbon capture, utilization and storage
Manas R. Das, Suchismita Satapathy; L.K. Pothal [27]	A study on waste management in iron mining
Cruz, Daiane R.S; Silva, Iris A.A; Oliveira, Rhayza V.M; Buzinaro, Marco A.P; Costa, Benilde F.O; Cunha, Grazielle C; Romão, Luciane P.C. [28]	Recycling of mining waste in the synthesis of magnetic nanomaterials for removal of nitrophenol and polycyclic aromatic hydrocarbons
Xia, Jinsong; Ghahreman, Ahmad [29]	Sustainable technologies for the recycling and upcycling of precious metals from e-waste
Zhou, Taira; Wang, Zihe; Lv, Qilin; Zhang, Yiyang; Tao, Shuming; Ren, Xueqin; Gao, Haixiang; Gao, Zideng; Hu, Shuwen [30]	Sulfur dynamics in saline sodic soils: The role of paddy cultivation and organic amendments
Katarzyna Pactwa , Justyna Woźniak , Michał Dudek [31]	Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles
Zhou, Chunxi; Xin, Yu; Han, Yang [32]	Towards a green mining future: A dynamic evolutionary game model for collaborative waste recycling
Haghighizadeh, Atoosa; Rajabi, Omid; Nezarat, Arman; Hajyani, Zahra; Haghmohammadi, Mina; Hedayatikhah, Soheila; Asl, Soheila Delnabi; Aghababai Beni, Ali [33]	Comprehensive analysis of heavy metal soil contamination in mining Environments: Impacts, monitoring Techniques, and remediation strategies
Yu, Haoxuan; Zahidi, Izni; Fai, Chow Ming; Liang, Dongfang; Madsen, Dag Øivind [34]	Mineral waste recycling, sustainable chemical engineering, and circular economy
Cappucci, Grazia Maria; Avolio, Roberto; Carfagna, Cosimo; Cocca, Mariacristina; Gentile, Gennaro; Scarpellini, Simone; Spina, Francesco; Tealdo, Gianluigi; Errico, Maria Emanuela; Ferrari, Anna Maria [35]	Environmental life cycle assessment of the recycling processes of waste plastics recovered by landfill mining
Zhang, Chunbo; Hu, Mingming; Di Maio, Francesco; Sprecher, Benjamin; Yang, Xining; Tukker, Arnold. [36]	An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe
Lei, Bin; Li, Xiaohu; Guo, Yipu; Qu, Fulin; Zhao, Caiyu; Tam, Vivian W.Y; Wu, Victor; Li, Wengui [37]	Recycling of copper tailing as filler material in asphalt paving mastic: A sustainable solution for mining waste recovery

Posteriormente, los documentos presentados se organizaron, a través de gráficos, con el fin de abordar la investigación de manera más dinámica.

En la Fig. 3 se observa la distribución de artículos científicos según el año de publicación, destacándose un aumento sostenido en la cantidad de estudios relacionados con los temas investigados. El año 2024 se presenta como el periodo con el mayor número de publicaciones, en comparación con el 2019 y 2020, donde se registró un crecimiento del 35% en las investigaciones científica. Este incremento se debe en gran medida a que los sectores analizados son considerados algunos de los mayores emisores de residuos sólidos a nivel global.

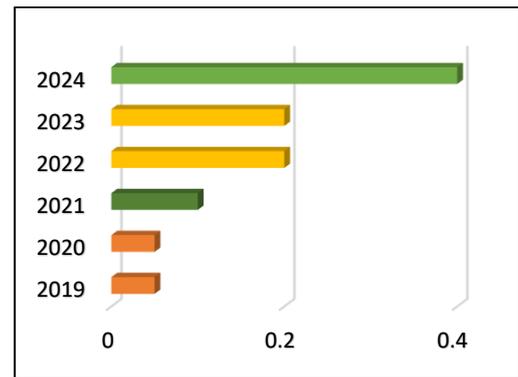


Fig. 3 Distribución porcentual de los artículos seleccionados según los años destinados.

En la Fig. 4, se esquematiza la distribución de la literatura según su fuente de origen. Donde se evidencia que el 60% de los artículos provienen de revista académica Scopus y el 40% de las publicaciones seleccionadas provienen del repositorio Science Direct. Los cuales se centran en temas principalmente la gestión de residuos sólidos, cantidad de desperdicios y emisiones, aprovechamiento en el sector industrial, entre otros.

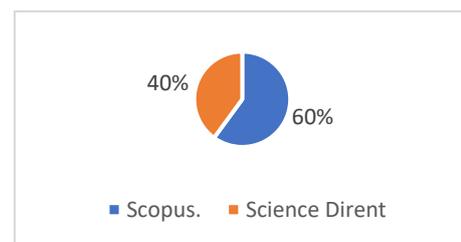


Fig. 4 Distribución porcentual de los artículos seleccionados según la página seleccionada.

#### B. RESULTADOS DE INFORMACION DE LA REVISION SISTEMÁTICA

En la Fig.5, se visualiza la cantidad de residuos sólidos aumenta en un 70% a 3.400 millones de toneladas métricas en 2050 producto de la urbanización y el crecimiento demográfico.

Se demuestra que las áreas de Asia Oriental y el Pacífico genera 468 millones de toneladas liderando la lista con un 43% de los residuos generados en el mundo, Europa y Asia generan 392 millones de toneladas mientras que las regiones de América del norte y latina generan la menor cantidad de residuos con 289 y 231 millones de toneladas respectivamente, como se muestra.[8]

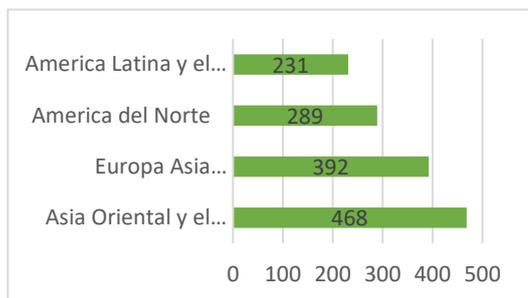


Fig. 5 Continentes con mayor tonelaje de residuos sólidos.

En la Tabla III, se estima que a nivel mundial se generan más de 10 mil millones de toneladas de residuos donde tenemos a China encabezando la lista [19], así por consiguiente en los demás sectores según estimada en la tabla.

TABLE III  
PAÍSES CON MAYOR CONTRIBUCIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS

Industrial	Malasia	19.15 Toneladas
	China	161 toneladas
	Kuwait	42 toneladas
	India	56 millones
Fuente	[6] [19]	

### SECTOR CONSTRUCCIÓN

A nivel mundial, los residuos del sector construcción y demolición son un problema constante en el proceso de urbanización. La reutilización de los (RCD) pueden llegar a favorecer la reducción de consumo de los recursos naturales y las emisiones de carbono significativamente, para promover el constante desarrollo de ciudades libres de residuos. [10]

En el sector de la construcción los residuos sólidos se generan principalmente a partir de actividades de construcción y demolición. Estos residuos comprenden materiales como concreto, metales, ladrillos, madera y yeso, etc. Los cuales se utilizan en edificios, carreteras e infraestructuras, y se diferencian de los residuos sólidos municipales. Además de ellos se estima que es uno de los sectores con más consumo de materia prima y consumo de energía. [9]

En la Fig. 6 se presentan los datos extraídos de diversos estudios sobre la cantidad de residuos sólidos generados por el sector de la construcción a nivel global. La comparación entre países, se destaca que China encabeza la lista con 1500 millones de toneladas [11], seguida por EE. UU, con 600 millones de toneladas, [12] y Alemania, que ocupa el tercer lugar con 85 millones de toneladas [13], entre otros más países. [14][15] Estos resultados subrayan la magnitud del impacto ambiental generado por estos países en la gestión de residuos.

millones de toneladas, [12] y Alemania, que ocupa el tercer lugar con 85 millones de toneladas [13], entre otros más países. [14][15] Estos resultados subrayan la magnitud del impacto ambiental generado por estos países en la gestión de residuos.

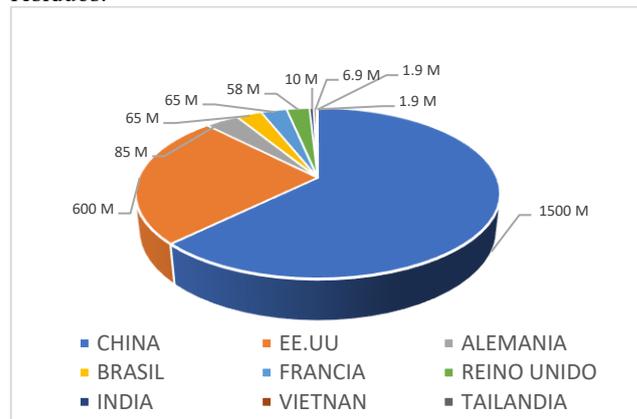


Fig.6 índices de emisión de residuos sólidos según país

En la Fig. 7, se muestra 3 tipos de residuos sólidos segmentados por tonelaje anual. Donde el metal emite 124 Millones de toneladas[10], colocándolo en el primer lugar. Además, se observa que elemento como la arena emite 77.24 Millones de toneladas [22], elementos como la cerámica generan 18.339 millones de toneladas [17]y el yeso 15 Millones de toneladas[15], ubicándolos en el segundo y tercer lugar respectivamente.

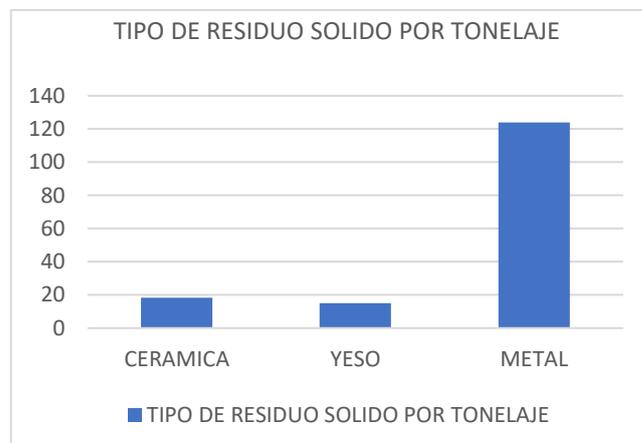


Fig. 7 Tipos de residuo por tonelaje.

En la Tabla IV, los datos hacen referencia a la clasificación de residuos sólidos, dando un enfoque a el aprovechamiento y su utilidad, con un énfasis significativo en relación al impacto que genera la reutilización de los distintos componentes que emite el sector de la construcción. Debido a que es uno de los principales explotadores de recursos naturales con un 46% primas a nivel mundial.[18]

**TABLA IV**  
**REVISIÓN DE APROVECHAMIENTO E IMPACTO DE**  
**RESIDUOS RESULTANTES DE LA CONSTRUCCIÓN.**

Referencia	Residuos solidos	Aprovechamiento y utilidad	Impacto
[19]	METAL	Los desechos metálicos podrían convertirse en nuevos productos metálicos mediante procesos de reciclaje.	El reciclaje de metal requiere de menor consumo de energía esto indica que el proceso de reutilización de metales puede producir hasta un 70% de beneficios ambientales en el sector de construcción.
[15]	YESO	Se utiliza para los acabados de techos, paredes y también se usa como fertilizante que mejora la textura del suelo.	Se caracteriza por tener la misma composición química que el yeso natural, por lo que muestran un mayor índice de reutilización y reciclaje.
[20]	BALDOSAS CERAMICA	Se utiliza para la decoración y acabados de edificios.	El vertimiento de CTW causa contaminación del suelo, ya que son difíciles de degradar.
[13]	LODO DE HORMIGÓN	Actúa como fuente de calcio, hidróxido y cristal semilla para la cristalización de HAP. (Tipos de sustancia química que emite)	Al momento de desecharlos en el vertedero aumenta el coste de producción de edificios y de los componentes para su elaboración.
[21]	GEOPOLIMERO	Se utiliza como reemplazo viable del cemento Portland (OPC)	El Reciclar CDW como fuente de geo polímeros ofrece una solución sostenible para reducir su impacto ambiental.
[13]	MADERA	Se utiliza principalmente en vertederos, compostaje, combustible y jardinería.	Como combustible, genera grandes problemas medioambientales
[22]	ARENA	La arena de residuos de demolición, se considera como un agregado siderúrgico (SA), especialmente en la producción de hierro y acero.	Reduce los índices de explotación de recursos naturales y da lugar a la reutilización de los materiales con características similares a los fabricados con áridos naturales.
[23]	LADRILLO	Se utiliza en la preparación de bloques de adobe, ladrillos de suelo-cemento y además sustituye en un 50% a la arcilla.	La implementación de estos residuos mejora un 20% en la resistencia de compresión en la producción de cemento.

Se detallan los datos vinculados a la gestión de residuos sólidos. Dando un enfoque a la utilidad que se puede dar a cada tipo de residuo. Ofreciendo una estructura sobre la reutilización de materiales, clasificando los datos sustraídos por categorías. En síntesis, esta sistematización facilita a agilizar los procesos de adquisición de información para identificar las áreas que requieren una investigación con un énfasis a la reutilización en gran escala.[18]

#### TECNOLOGIAS DE REUTILIZACION

Una de las formas más eficientes para optimizar la gestión de residuos en el sector de la construcción es la implementación de tecnologías emergentes. El Modelo de Información de Construcción (BIM) se destaca como una herramienta innovadora que transforma el enfoque convencional de gestión de desechos en este sector. Además, permite el desarrollo de estrategias sostenibles para la gestión de residuos. La integración de BIM con sistemas de certificación ecológica facilita una evaluación más exhaustiva de los materiales y del entorno, lo que contribuye a reducir significativamente los desechos generados. Al aplicar metodologías de evaluación estandarizadas, como la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), se pueden cuantificar los impactos ambientales y económicos de manera eficaz, optimizando así el rendimiento de los sistemas de gestión de residuos. [16] En el contexto, el sector de la construcción ha mostrado grandes avances en la utilización del aprendizaje automático y la visión por un programador para pronosticar la reutilización de los residuos de construcción y demolición. En contexto se han utilizado para identificar materiales reciclables como plásticos, metales, madera y hormigón a partir de residuos desechados.[7]

#### SECTOR MINERO

La alta demanda de materiales del sector minero por parte de la sociedad ha aumentado considerablemente en el pasar del tiempo; en la actualidad, las operaciones de Economía Circular conllevan a reducir el consumo de materiales, con el principal objetivo de poder reducir los impactos ambientales que se producen mediante la extracción de materias primas [24]. La minería es un sector altamente importante que forma el 6,9% del PIB mundial. A nivel global se generan millones de toneladas de residuos mineros y se proyecta una acumulación de 19 mil millones de desechos sólidos hacia el 2025 [25]

La industria minera ha contribuido exponencialmente al aumento del nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Al ser una industria mundial importante, los problemas relacionados con la minería prevalecen considerablemente en el manejo de residuos sólidos y las emisiones de CO<sub>2</sub>. [26]

En la tabla V se ha realizado una comparativa de residuos solidos producto de la minería, donde se ha abarcado su gestionamiento de aprovechamiento y consecuencias.

**TABLA V**  
**REVISIÓN DE APROVECHAMIENTO E IMPACTO DE**  
**MINERALES RESULTANTE DE LA MINERÍA.**

Referencia	Residuos sólidos	Aprovechamiento y utilidad	Consecuencias
[25] [27][28]	Silicio, Hierro	Ladrillos, construcción de carreteras	Altamente perjudiciales para el medio ambiente y en exceso provocar efectos en la salud humana, como daños al páncreas, el hígado y el corazón.
[25] [29]	Metal, plata	Utilización en dispositivos electrónicos.	Agotamiento de los recursos y contaminación ambiental.
[25] [30]	Azufre	Mejora de las capacidades de absorción y mineralización del suelo e indispensable para el desarrollo óptimo de los cultivos.	Oxidación y acidificación del medio ambiente. Provocando DAMAE.
[15] [32]	Cadmio, Mercurio, Plomo	Presente en elaboración de componentes médicos.	Daños neurológicos, y cáncer en los seres humanos
[24] [33]	Zinc	Maquinaria, edificios, compuestos químicos, láminas de zinc.	Degradación del suelo y contaminación del agua.

### REUTILIZACIÓN

Al poder aprovechar los depósitos de desechos de minería reducimos considerablemente la huella de carbono asociada con nuevas excavaciones. [34]

Los residuos de la minería como el óxido de sílice y el hierro (Fe) son utilizables para la construcción y elaboración de ladrillos, arcilla, etc. Por lado, el agua residual de la mina se puede utilizar como refrigerante, ya que es sumamente favorable para la agricultura y la industria. [27]

### TECNOLOGÍAS DE REUTILIZACIÓN

La tecnología gravimétrica utiliza el agua como fluido denso, permitiendo separar los diferentes materiales, pero al mismo tiempo va lavando el propio material, permitiendo eliminar la contaminación que se concentra en el lodo final. El agua utilizada es tratada en un clarificador con tratamiento químico-físico y recirculado en la planta de tratamiento. [35] Una tecnología prometedora para el uso de desechos de la minería del hierro es recuperar iones de hierro y aplicarlos en la síntesis de compuestos como fase inorgánica para la producción de la parte magnética de la estructura de ferrita. La ferrita se ha utilizado anteriormente en una amplia gama de aplicaciones, como portadores de fármacos, almacenamiento de información, resonancia magnética nuclear, tratamiento de tumores malignos, pigmentos cerámicos, catálisis y remediación ambiental [28] Otro proceso importante de recuperación de reciclaje de

residuos sólidos mineros es el proceso Hisarna [24]. Los residuos mineros tienen gran carga útil de carbono a largo plazo que se puede convertir en productos altamente generadores de ingresos. A través de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCUS) mediante el uso de tecnologías de carbonatación mineral acelerada y curado por carbonatación. [26]

La hidrometalurgia se destaca como proceso donde los metales preciosos se transfieren de los desechos sólidos a solución junto con otros metales después del proceso de lixiviación, lo que requiere una mayor recuperación de estos residuos [29].

### IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con [13] a nivel mundial, aproximadamente entre el 30 % y el 40 % de los residuos sólidos provienen de la construcción y demolición. Cada año, se estima que en Estados Unidos se generan alrededor de 924 millones de toneladas de estos desechos, mientras que en la Unión Europea son 534 millones de toneladas y en China alcanzan las 2.3 mil millones de toneladas. Sin embargo, [36] y [13] señalan que Estados Unidos produce 600 millones de toneladas y Alemania 85 millones de toneladas, situándose en el segundo y tercer lugar respectivamente. Por otro lado, en Europa, tenemos los dos sectores principales de mayor generación de residuos: minería y canteras (28,1%) y construcción y demolición (34,7%).

#### Parámetros de Reutilización

Según [21], los geos polímeros muestran un potencial para reducir las emisiones en comparación con el hormigón convencional basado en OPC. No obstante, este beneficio se ve significativamente influenciado por la distancia de transporte de los materiales necesarios para su producción, lo cual puede resultar en un aumento de hasta un 14% en las emisiones contaminantes en algunos casos, en comparación con el hormigón tradicional. Sin embargo, el reciclaje de residuos de construcción y demolición (CDW) emerge como una solución sostenible para mitigar este impacto. Por otra parte, [22] indica que un material alternativo potencial es la arena residual. El uso de (WFS) en el sector de construcción promete resolver el problema de la utilización de residuos y supone un avance considerable hacia el objetivo de cero residuos. Se ha informado de que mejora la calidad del proceso para la obtención de hormigón, haciéndolo más denso y duradero, siendo así una alternativa viable al uso de áridos finos naturales, mitigando en un 39% la reducción de impacto medio ambiental que genera la Arena residual en el sector de la construcción.

La minería es un sector que conforma el 6,9% del PIB mundial. Anualmente se generan 7 mil millones de toneladas de desechos mineros y se proyecta una acumulación de 19 mil millones de desechos sólidos mineros hacia el 2025, dicho residuos están categorizados como residuos peligrosos según el reglamento de residuos industriales [25] llegando a provocar altos niveles de daños ambientales, degradación del agua, del suelo y pérdida de biodiversidad. [13] Por otro lado los autores [37] detallan una perspectiva más generalizada, brindando aproximadamente entre 20 y 25 mil millones de toneladas de residuos mineros a nivel global, sin embargo, los autores [34] la industria minera alcanzó los 167,20 mil millones de toneladas en 2020, y se estima con una proyección a 208,33 mil millones de toneladas para 2028.

## V. CONCLUSIONES

La gestión de residuos sólidos en la construcción y minería es clave para reducir el impacto ambiental y generar beneficios económicos mediante la reutilización de materiales. Sin embargo, ambos sectores enfrentan desafíos tecnológicos y logísticos que requieren infraestructuras adecuadas y capacitación continua del personal para superarlos eficazmente.

La implementación del BIM optimiza la planificación de proyectos y facilita la gestión de residuos en el sector de la construcción, promoviendo la reutilización de materiales y reduciendo el impacto ambiental. En el sector minero, tecnologías como la gravimétrica favorecen la sostenibilidad al recuperar metales valiosos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, contribuyendo también a la reducción del impacto ambiental.

Los estudios investigados destacan que los sistemas analizados ofrecen mejoras en sostenibilidad, prevención de riesgos y protección ambiental, promoviendo la reutilización de recursos. Se recomienda seguir evaluando e innovando en tecnologías para la construcción y minería, realizando estudios adicionales sobre los posibles impactos negativos. La combinación de innovación y sostenibilidad mejorará la eficiencia operativa y fomentará un desarrollo más responsable con el medio ambiente.

## REFERENCIAS

- [1] D. D. Reyes, A. I. S. Reátegui, H. S. Muñoz, L. F. G. Ilich, V. P. M. Walter, and C. A. F. Alicia, "Environmental impact of a design for a solid waste plant in the Francisco Morales Bermúdez market," in *Proceedings of the LACCEI International Multiconference for Engineering, Education and Technology*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2023. doi: 10.18687/laccei2023.1.1.468.
- [2] P. A. Farfán Torres and A. T. Ortega Ramírez, "Review of mechanisms for energy valorization for urban solid waste case: Doña Juana sanitary landfill," *Produccion y Limpia*, vol. 18, no. 1, pp. 192–206, Jan. 2023. doi: 10.22507/pml.v18n1a12.
- [3] R. Mejía-De-Gutiérrez, R. Robayo-Salazar, and W. Valencia-Saavedra, "Construction and demolition waste as raw material for concrete and construction elements obtained through alkaline activation," *Rev Acad Colomb Cienc Exactas Fis Nat*, vol. 47, no. 184, pp. 505–519, 2023. doi: 10.18257/raccefyn.1892.
- [4] Z. Y. Jiang, X. P. Sun, Y. Q. Luo, X. L. Fu, A. Xu, and Y. Z. Bi, "Recycling, reusing and environmental safety of industrial by-product gypsum in construction and building materials," Jun. 21, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136609.
- [5] T. Samanta, A. Jana, S. K. Khanra, and S. Mukhopadhyay, "A detailed study of the physicochemical parameters of the solid waste dumping grounds adjoining densely populated areas: A case study in India," *Environmental Health Engineering and Management*, vol. 11, no. 1, pp. 71–81, Dec. 2024. doi: 10.34172/EHEM.2024.09.
- [6] B. Valizadeh, M. A. Abdoli, S. Dobaradaran, R. Mahmoudkhani, and Y. A. Asl, "Risk control of heavy metal in waste incinerator ash by available solidification scenarios in cement production based on waste flow analysis," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024. doi: 10.1038/s41598-024-56551-y.
- [7] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *The BMJ*, vol. 372. BMJ Publishing Group, Mar. 29, 2021. doi: 10.1136/bmj.n71.
- [8] T. L. X. Wong, M. R. Mohd Hasan, and L. C. Peng, "Recent development, utilization, treatment and performance of solid wastes additives in asphaltic concrete worldwide: A review," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 9, no. 5. KeAi Communications Co., pp. 693–724, Oct. 01, 2022. doi: 10.1016/j.jtte.2022.06.003.
- [9] S. Pallewatta, M. Weerasooriyagedara, S. Bordoloi, A. K. Sarmah, and M. Vithanage, "Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal," *Science of the Total Environment*, vol. 882. Elsevier B.V., Jul. 15, 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163340.
- [10] J. Xu, Y. Liu, A. Simi, and J. Zhang, "Recycling and reuse of construction and demolition waste: From the perspective of national natural science foundation-supported research and research-driven application," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, Jun. 2022. doi: 10.1016/j.cscm.2022.e00876.
- [11] G. Gumusburun Ayalp and M. Anaç, "A comprehensive analysis of the barriers to effective construction and demolition waste management: A bibliometric approach," *Cleaner Waste Systems*, vol. 8. Elsevier B.V., Aug. 01, 2024. doi: 10.1016/j.clwas.2024.100141.
- [12] D. Zhang, M. J. Wang, S. C. Coppeters 't Wallant, S. Zhang, and Y.-M. Chiang, "Toward zero-waste resource recovery from municipal solid waste incineration ash by electrochemical and chemical mining," *Cell Reports Sustainability*, p. 100120, Jun. 2024. doi: 10.1016/j.crsus.2024.100120.
- [13] S. Pallewatta, M. Weerasooriyagedara, S. Bordoloi, A. K. Sarmah, and M. Vithanage, "Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal," *Science of the Total Environment*, vol. 882. Elsevier B.V., Jul. 15, 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163340.
- [14] L. T. da Silva Ramos, R. C. de Azevedo, A. C. da Silva Bezerra, L. M. do Amaral, and R. D. Oliveira, "Iron ore tailings as a new product: A review-based analysis of its potential incorporation capacity by the construction sector," *Cleaner Waste Systems*, vol. 7. Elsevier B.V., Apr. 01, 2024. doi: 10.1016/j.clwas.2024.100137.
- [15] M. S. S. R. Tejaswini, P. Pathak, and D. K. Gupta, "Sustainable approach for valorization of solid wastes as a secondary resource through urban mining," *Journal of Environmental Management*, vol. 319. Academic Press, Oct. 01, 2022. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115727.
- [16] F. Naghibalsadati, A. Gitifar, S. Ray, A. Richter, and K. T. W. Ng, "Temporal evolution and thematic shifts in sustainable construction and demolition waste management through building information modeling technologies: A text-mining analysis," *J Environ Manage*, vol. 369, Oct. 2024. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122293.
- [17] S. Fu and J. Lee, "Recycling of ceramic tile waste into construction materials," *Developments in the Built Environment*, vol. 18. Elsevier Ltd, Apr. 01, 2024. doi: 10.1016/j.dibe.2024.100431.
- [18] B. S. Byers, D. Raghu, A. Olumo, C. De Wolf, and C. Haas, "From research to practice: A review on technologies for addressing the information gap for building material reuse in circular construction," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 45. Elsevier B.V., pp. 177–191, Mar. 01, 2024. doi: 10.1016/j.spc.2023.12.017.
- [19] J. Wang, H. Wu, V. W. Y. Tam, and J. Zuo, "Considering

- life-cycle environmental impacts and society's willingness for optimizing construction and demolition waste management fee: An empirical study of China," *J Clean Prod*, vol. 206, pp. 1004–1014, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.09.170.
- [20] S. Fu and J. Lee, "Recycling of ceramic tile waste into construction materials," *Developments in the Built Environment*, vol. 18. Elsevier Ltd, Apr. 01, 2024. doi: 10.1016/j.dibe.2024.100431.
- [21] M. Alhawati, A. Ashour, G. Yildirim, A. Aldemir, and M. Sahmaran, "Properties of geopolymers sourced from construction and demolition waste: A review," *Journal of Building Engineering*, vol. 50. Elsevier Ltd, Jun. 01, 2022. doi: 10.1016/j.job.2022.104104.
- [22] G. García, R. Cabrera, J. Rolón, R. Pichardo, and C. Thomas, "Systematic review on the use of waste foundry sand as a partial replacement of natural sand in concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 430. Elsevier Ltd, Jun. 07, 2024. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136460.
- [23] A. C. Paula Junior, C. Jacinto, C. Turco, J. Fernandes, E. Teixeira, and R. Mateus, "Analysis of the effect of incorporating construction and demolition waste on the environmental and mechanical performance of earth-based mixtures," *Construction and Building Materials*, vol. 330. Elsevier Ltd, May 02, 2022. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127244.
- [24] L. Rostek, E. Pirard, and A. Loibl, "The future availability of zinc: Potential contributions from recycling and necessary ones from mining," *Resources, Conservation and Recycling Advances*, vol. 19, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.rcradv.2023.200166.
- [25] T. D. Yıldız, M. O. Güner, and O. Kural, "Effects of EU-Compliant mining waste regulation on Turkish mining sector: A review of characterization, classification, storage, management, recovery of mineral wastes," *Resources Policy*, vol. 90, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.resourpol.2024.104836.
- [26] F. M. Kusin, S. N. M. Syed Hasan, V. L. M. Molahid, and M. H. Soomro, "Dual adoption opportunities and prospects for mining and industrial waste recovery through an integrated carbon capture, utilization and storage," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 48. Elsevier B.V., pp. 181–204, Jul. 01, 2024. doi: 10.1016/j.spc.2024.05.012.
- [27] M. R. Das, S. Satapathy, and L. K. Pothal, "A study on waste management in iron mining," *Mater Today Proc*, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.06.368.
- [28] D. R. S. Cruz *et al.*, "Recycling of mining waste in the synthesis of magnetic nanomaterials for removal of nitrophenol and polycyclic aromatic hydrocarbons," *Chem Phys Lett*, vol. 771, May 2021, doi: 10.1016/j.cplett.2021.138482.
- [29] J. Xia and A. Ghahreman, "Sustainable technologies for the recycling and upcycling of precious metals from e-waste," *Science of the Total Environment*, vol. 916. Elsevier B.V., Mar. 15, 2024. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.170154.
- [30] T. Zhou *et al.*, "Sulfur dynamics in saline sodic soils: The role of paddy cultivation and organic amendments," *Ecol Indic*, vol. 162, May 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112014.
- [31] K. Pactwa, J. Woźniak, and M. Dudek, "Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles," *Fuel*, vol. 270, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117493.
- [32] C. Zhou, Y. Xin, and Y. Han, "Towards a green mining future: A dynamic evolutionary game model for collaborative waste recycling," *Heliyon*, vol. 9, no. 10, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20515.
- [33] A. Haghizadeh *et al.*, "Comprehensive analysis of heavy metal soil contamination in mining Environments: Impacts, monitoring Techniques, and remediation strategies," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 17, no. 6. Elsevier B.V., Jun. 01, 2024. doi: 10.1016/j.arabjc.2024.105777.
- [34] H. Yu, I. Zahidi, C. M. Fai, D. Liang, and D. Ø. Madsen, "Mineral waste recycling, sustainable chemical engineering, and circular economy," *Results in Engineering*, vol. 21, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.101865.
- [35] G. M. Cappucci *et al.*, "Environmental life cycle assessment of the recycling processes of waste plastics recovered by landfill mining," *Waste Management*, vol. 118, pp. 68–78, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.07.048.
- [36] C. Zhang, M. Hu, F. Di Maio, B. Sprecher, X. Yang, and A. Tukker, "An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe," *Science of the Total Environment*, vol. 803. Elsevier B.V., Jan. 10, 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149892.
- [37] B. Lei *et al.*, "Recycling of copper tailing as filler material in asphalt paving mastic: A sustainable solution for mining waste recovery," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03237.