

Technology and its Influence on Solid Waste Management: A Systematic Literature Review 2019-2024

Osorio-Paredes, Liney, Maestra en Gerencia de Industrias Agropecuarias y Pesqueras¹; Rivas-Mendoza, Milagros Isabel, Maestra en Ciencias de la Educación¹; Flores-Davelouis, Sofia, Estudiante de Ingeniería Industrial¹; Del Castillo-Saenz, Vanessa Milagros, Estudiante de Ingeniería Industrial¹; Estrada-Espinoza, Johan Alexander, Estudiante de Ingeniería Industrial¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c23212@utp.edu.pe, c22922@utp.edu.pe, u20216371@utp.edu.pe, u20212218@utp.edu.pe, u18103195@utp.edu.pe

Abstract– The present study utilizes the method of systematic literature review of research papers that address arguments about technology and its influence on solid waste management between the years 2019 and 2024. To achieve this, the information search began using the variables “technology” and “solid waste management” within the Scopus database. Filters were then applied that met the criteria established for each category in terms of access type, publication stage, time frame, language, subject area, and keywords. Following this, exclusion criteria were applied to obtain a reliable set of 19 articles. The results indicate that the influence of technology on solid waste management is positive, as it contributes to the reduction of greenhouse gases (GHG), improvement in air and soil quality, and the preservation of natural resources through the application of automated systems, waste conversion processes, and recycling. Additionally, the year with the highest number of scientific publications on the topic was 2023. The most frequently highlighted keywords were urban solid waste, waste management, and sustainable development. Countries such as India, Malaysia, and Italy have the highest percentage of scientific article production, indicating that Latin America needs to delve deeper into this topic. In conclusion, the studies demonstrate the potential of mathematical optimization, assignment and routing models, and geographic information systems (GIS) to optimize the collection, transportation, and treatment of solid waste, improving efficiency and sustainability.

Keywords-- Solid waste management, technology, efficiency, environmental impact.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Tecnología y su Influencia en la Gestión de Residuos Sólidos: Una Revisión Sistemática de Literatura 2019-2024

Osorio-Paredes, Liney, Maestra en Gerencia de Industrias Agropecuarias y Pesqueras¹; Rivas-Mendoza, Milagros Isabel, Maestra en Ciencias de la Educación¹; Flores-Davelouis, Sofia, Estudiante de Ingeniería Industrial¹; Del Castillo-Saenz, Vanessa Milagros, Estudiante de Ingeniería Industrial¹; Estrada-Espinoza, Johan Alexander, Estudiante de Ingeniería Industrial¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c23212@utp.edu.pe, c22922@utp.edu.pe, u20216371@utp.edu.pe, u20212218@utp.edu.pe, u18103195@utp.edu.pe

Resumen— *El presente estudio utiliza el método de la revisión sistemática de literatura referente a trabajos de investigación que abordan argumentos acerca de la tecnología y su influencia en la gestión de residuos sólidos entre los años 2019 y 2024. Para ello, se inició la búsqueda de información con el uso de las variables “technology” y “solid waste management” dentro de la base de datos Scopus. Luego, se aplicaron filtros que cumplieran con lo establecido para cada categoría en tipo de acceso, etapa de publicación, temporalidad, idioma, área temática y palabras claves. Seguido de ello, se aplicaron criterios de exclusión para obtener un conjunto confiable de 19 artículos. Los resultados indican que, la influencia del uso de la tecnología en la gestión de residuos sólidos es positiva, ya que aporta a la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI), la mejora en la calidad del aire y suelo y la preservación de los recursos naturales debido a la aplicación de sistemas automatizados, procesos conversión de residuos y reciclaje. Además, el año donde se realizaron mayor cantidad de publicaciones científicas al tema en mención fue el 2023. Asimismo, se destaca en mayor número las siguientes palabras claves; residuos sólidos urbanos, gestión de residuos y desarrollo sostenible. Los países tales como India, Malasia e Italia tienen el porcentaje más alto de producción de artículos científicos; lo que significa que, Latinoamérica se encuentra en la necesidad de abordar con mayor profundidad un estudio sobre este tema. En conclusión, los estudios demuestran el potencial de la optimización matemática, los modelos de asignación y enrutamiento, y los sistemas de información geográfica (SIG) para optimizar la recolección, el transporte y el tratamiento de residuos sólidos, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad.*

Palabras clave— *Gestión de residuos sólidos, tecnología, eficiencia, impacto ambiental.*

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo social, económico y tecnológico, implica un mayor consumo de recursos creando una generación de residuos sólidos que afecta el medio ambiente y la salud humana [1],[2]. Ante ello, las ciudades deben adoptar un enfoque alternativo, en lugar de depender únicamente de métodos convencionales se debe gestionar los residuos, de tal forma que se cumplan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [3],[4].

La gestión de residuos implica un sistema organizado y metódico que va desde la generación hasta las distintas etapas de tratamiento y disposición de desechos sólidos [5],[6], este sistema se rige por una serie de principios, que incluyen la salud pública, el bienestar general, eficiencia económica, preservación de recursos y el cumplimiento de otros estándares ambientales [7].

La gestión de residuos sólidos (RSA) es el conjunto de operaciones que involucra conocimientos técnicos y administrativos para organizar, diseñar, ejecutar y analizar correctamente los residuos de carácter industrial, comercial o doméstico [8],[9]. Globalmente, para el 2023, se generaron aproximadamente de 1,300.000000 de toneladas de desechos sólidos, donde solo el 25% fue gestionado de forma eficiente. Para el 2025, se estima que dicho valor será duplicado respecto a la cantidad de desechos producidos [10],[11].

El consumo de recursos en las áreas urbanas aumentará significativamente, pasando de 40,000.000000 de toneladas en 2010 a 90,000.000000 de toneladas para el año 2050, dicho crecimiento se deberá a los países en vía de desarrollo [7], un ejemplo es Tanzania, donde la producción de desechos sólidos está en constante aumento estimándose como producción 4200 toneladas diarias para 2025 [3].

En Latinoamérica y el Caribe se desencadenaron aproximadamente 1,04 kilogramos de residuos por persona al día, lo que conlleva a la gestión de 541.000 toneladas de desechos sólidos municipales diariamente [12],[13]. Entonces, únicamente el 10% de los residuos producidos se reciclan; pues se proyecta que la producción mundial de residuos podría llegar a los 20,000 millones de toneladas anualmente para el 2050 [8].

En países como Perú, se originan más de 23.000 toneladas de residuos sólidos por día, sin embargo, cuenta con 52 vertederos sanitarios lo que representa un déficit del 85%, ya que se necesitarían más de 344 vertederos para cubrir la demanda; y en el 2018, más de 1.585 áreas fueron degradadas

debido a los residuos sólidos y se registraron 62 instalaciones informales para la disposición final de los mismos [8],[14].

La tecnología como parte fundamental en los procesos de transformación de los desechos en recursos útiles, da un giro hacia lo positivo por obtenerse ventajas ambientales, económicas y sociales [15], ejemplo de esto es mediante un proceso de digestión anaeróbica (Tecnología Waste to Energy) es posible obtener energía renovable a partir de residuos sólidos o biomasa [16], que puede aplicarse dentro de una industria agropecuaria y aprovechar dicha energía en el funcionamiento de la maquinaria y equipos, facilitando los procesos y mejora los resultados llegando a desarrollar una ciudad inteligente y sostenible [17].

Estudios anteriores dan a conocer los efectos e impactos negativos que provocan una inadecuada gestión de residuos, teniendo como principal contaminante a los gases de efecto invernadero (GEI) [18], enfatizando la importancia del uso de tecnología para los procedimientos de transformación de los residuos sólidos, enfocados especialmente, en obtener energía o combustible alternativo para el uso de maquinaria y equipos [19].

Por tal motivo, al aplicar tecnología en la gestión de residuos se contribuye en el ámbito social a mejorar la calidad de vida, por contar con áreas urbanas y rurales limpias; en lo industrial, por la reducción de costos operativos, ya que puede aprovechar los residuos como fuente de energía, así como en la implementación de plantas de tratamiento que favorezcan la expansión de las industrias; en lo ambiental [20].

Por todo lo antes mencionado, se propone responder la siguiente pregunta de investigación: **¿Cómo influye la tecnología en la gestión de los residuos sólidos?**

Asimismo, se plantearon las siguientes preguntas complementarias implementando la estructura de PICO (Población, intervención, comparación y resultados), las cuales son:

PC1: ¿Cuál es la problemática de la gestión de residuos sólidos?

PC2: ¿Cuáles son los tipos de tecnología empleados en dicha gestión y el impacto positivo generado en el medio ambiente?

Por tanto, una nueva RSL aportará más información sobre la aplicación de tecnología y automatización dentro de procesos de gestión de residuos sólidos. Es así que, el **objetivo principal y general de esta investigación científica es determinar la influencia del uso de la tecnología en la gestión de los residuos sólidos a través del análisis de datos obtenidos en artículos de Scopus entre el 2019 al 2024**. Asimismo, se manejan objetivos específicos tales como: recopilar datos sobre la relación entre autores, países y

palabras claves de las investigaciones, ordenar según la frecuencia en el uso de palabras, identificar el país de origen de los artículos, verificar los años de publicación, resumir el uso de palabras claves, categorizar los estudios en base a su argumento tanto en relación con objetivo principal de la RSL como con la problemática, impacto y tipos de tecnología. Por tal motivo, es planteada la siguiente pregunta de investigación: **¿Cuál es la influencia positiva del uso de la tecnología en la gestión de residuos sólidos según la base indexada Scopus respecto al periodo 2019 – 2024?**.

II. METODOLOGÍA

El presente artículo se desarrolló bajo el enfoque de una Revisión Sistemática de Literatura (RSL), metodología que consiste en identificar, recopilar y examinar información verídica que guarde relación con el tema en estudio, la cual ha sido previamente publicada en una base de datos confiable [21].

La revisión bibliográfica sigue una secuencia de fases como identificación, exploración y selección, elegibilidad, verificación de artículos [22]. El procedimiento de búsqueda para acceder a la información se llevó a cabo en la base de datos Scopus, englobando un amplio contenido que enfoca disciplinas científicas y técnicas para medir el efecto de la investigación en otros resultados de investigación y así facilitar la relación entre distintos campos [23]. Por ello, se ha priorizado la recolección de documentos publicados en el periodo desde el 2019 hasta la actualidad, ya que el análisis de datos cuenta con una temporalidad de 5 años. Además, se consideró trabajos que guardaran relación con las variables en estudio: “tecnología” y “gestión de residuos sólidos”, que son palabras clave específicas. Esto se realizó con la finalidad de recabar estudios con temática similar y así fijar con más precisión investigaciones de valor.

En la base de datos Scopus, utilizando las variables de estudio antes mencionadas, se recuperaron 326 artículos dentro del periodo establecido. La selección manual se mejoró con la selección del área temática, tipo de documento, etapa de publicación, idioma, y tipo de acceso abierto, extrayendo 47 artículos. Luego se seleccionó palabras claves como “residuos sólidos municipales”, “reciclaje”, “gestión de residuos sólidos” y “gestión de residuos sólidos municipales”, obteniendo después de todo 34 artículos. Finalmente, se aplicaron parámetros de inclusión y exclusión basados en la Tabla I. El total de artículos seleccionados terminó siendo 19, los cuales aseguran el manejo de información pertinente e idóneo para la resolución de las preguntas de investigación planteadas.

TABLA I
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN PARA LA REVISIÓN
SISTEMÁTICA DE LITERATURA

CODIGO	DESCRIPCION
CI1	Los estudios contienen las variables de investigación "solid waste management" y "technology"
CI2	Los estudios que tengan acceso libre de lectura y revisión
CI3	Los estudios redactados en idioma inglés.
CI4	Los estudios que se encuentren en etapa final de publicación.
CE1	Estudios que estén fuera de la delimitación temporal (2019-2024)
CE2	Estudios que no guardan relación con el área temática de "Engineering"
CE3	Estudios que no se encuentren dentro de la categoría de "Article"
CE4	Estudios que no incluyen como mínimo 1 de las palabras claves mencionadas a continuación: "municipal solid waste", "recycling", "solid waste management" y "municipal solid waste management"
CE5	Estudios que no explican sobre tecnología
CE6	Estudios realizados como revisión sistemática de literatura.
CE7	Estudios que no analizan los residuos sólidos municipales.

La investigación emplea también la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) la finalidad de que los datos recopilados sigan una estructurada en común, con un contenido enriquecedor y accesible para el análisis exhaustivo de los resultados [24], tal como se muestra en la Fig. 1. De modo que, brinde información de apoyo y confiable para la comunidad científica que se enfoca en el tema de estudio presentado.

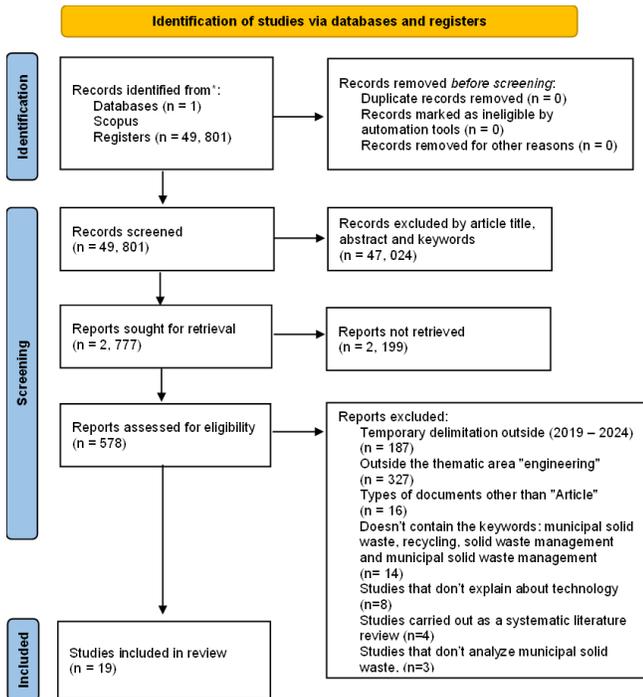


Fig. 1. Flujo PRISMA 2024 para revisiones sistemáticas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la revisión sistemática de literatura, los cuales son divididos en resultados de contenido y resultados bibliométricos. Para ello, se evidencia un resumen – “overview” de los diversos trabajos incluidos en este estudio sobre la tecnología y su influencia en la gestión de residuos sólidos durante el periodo 2019-2024, los cuales son 19.

TABLA II
ESTUDIOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE TECNOLOGÍA Y
SU INFLUENCIA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS: UNA REVISIÓN
SISTEMÁTICA DE LITERATURA 2019 - 2024

Autores	Título de Estudio
Khan et al. (2024) [25]	Optimizing municipal solid waste management in urban Peshawar: A linear mathematical modeling and GIS approach for efficiency and sustainability
Hashemi et al. (2023) [26]	An allocation-routing optimization model for integrated solid waste management
Salah et al. (2023) [27]	Analysis of Energy Recovery from Municipal Solid Waste and Its Environmental and Economic Impact in Tulkarm, Palestine
Krūmiņš & Kļaviņš (2023) [28]	Integrated Circulating Fluidized Bed Gasification System for Sustainable Municipal Solid Waste Management: Energy Production and Heat Recovery
Suryodiningrat & Ramadhan (2023) [29]	Integrated Solid Waste Management System Using Distributed System Architecture for Indonesia: An IT Blueprint
Saad et al. (2023) [11]	Blockchain-Enabled VANET for Smart Solid Waste Management
Sozoniuk et al. (2022) [30]	Investigating Residents' Acceptance of Mobile Apps for Household Recycling: A Case Study of New Jersey
Nicolini (2022) [31]	The Circularity of MSW in Urban Landscapes: An Evaluation Method for a Sustainable System Implementation
Lee et al. (2022) [32]	Environmental Sustainability Framework for Plastic Waste Management—a Case Study of Bubble Tea Industry in Malaysia
Butt et al. (2022) [33]	Hydrogen as Potential Primary Energy Fuel for Municipal Solid Waste Incineration for a Sustainable Waste Management
Garcia et al. (2021) [34]	Economic, environmental and energetic analysis of a distributed generation system composed by waste gasification and photovoltaic panels
Akram et al. (2021) [35]	Performance analysis of iot and long-range radio-based sensor node and gateway architecture for solid waste management
Di & Beccarello (2021) [36]	Designing waste management systems to meet circular economy goals: The Italian case
Malmir et al. (2021) [37]	Improving municipal solid waste management strategies of montreal (Canada) using life cycle assessment and optimization of technology options
Agaton et al. (2020) [38]	Economic analysis of waste-to-energy investment in the Philippines: A real options approach
Wan et al. (2020) [39]	Cloud-based product-service systems platform for household solid waste classification management
Senthilkumar (2019) [40]	Application of Smart Waste Management Strategies for Sustainable Waste Management

residuos sólidos urbanos (12), gestión de residuos (10), desarrollo sostenible (6), países en desarrollo (5), reciclaje (5), gasificación (4), incineración de residuos (4), conversión de residuos en energía (4), análisis económico (3), aprovechamiento de la energía (3), tal como se observa en la Fig. 5.

A través de la sistematización y análisis bibliométrico sobre Tecnología y su influencia en la gestión de residuos sólidos, se pudo evidenciar a través de un gráfico de 3 campos la relación entre autores, palabras claves y país, cabe resaltar que la relación es dependiente de izquierda a derecha, ya que en base a los autores que publicaron, se muestran las palabras claves mostradas y en base a estos últimos se muestra los países donde publicaron sus investigaciones. En tal sentido, los autores con mayor frecuencia son Akram, Alzain, Villanueva; en cuanto a las palabras claves con mayor frecuencia tenemos solid waste management, waste to energy, optimization y finalmente los países con mayor frecuencia India, Pakistán y Arabia Sudita.

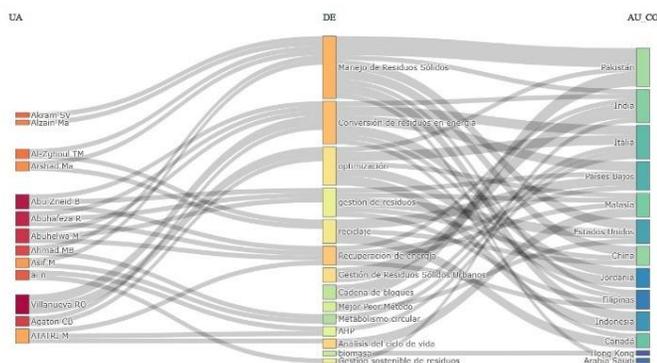


Fig. 6 Gráfica de tres filtros sobre los autores, palabras claves y países de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

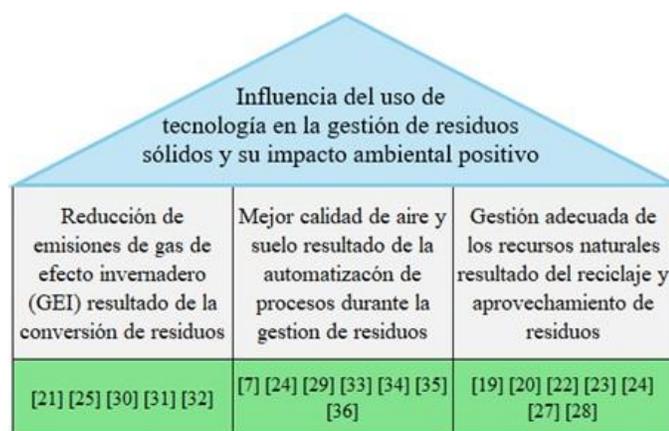


Fig. 7 Gráfica que categoriza los artículos incluidos en la revisión sistemática según su argumento frente al objetivo principal del estudio

Al analizar el contenido de cada artículo, estos se agrupan en respuesta del objetivo principal Fig. 7 y de 3 categorías relacionadas al tema, los cuales son la problemática de gestión

de residuos, los tipos de tecnología empleados y el impacto ambiental positivo. A fin de una mejor comprensión en los lectores, se muestra la Tabla III.

TABLA III
ARGUMENTOS DE LOS ARTÍCULOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA 2019 -2024, RESPECTO A LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

TEMÁTICA	ARGUMENTO	ARTÍCULOS
Problemática sobre gestión de residuos sólidos	Vertederos al aire libre y sobrecargados	[19],[25],[29],[31],[32],[34]
	Falta de clasificación de residuos	[20],[23],[7],[24],[26],[33],[35],[36]
	No generar una economía circular	[21],[23],[30]
	Agotamiento de recursos naturales por falta de reciclaje	[23],[24],[25],[26],[27],[28]
	Contaminación del aire e impactos en la salud	[21],[24],[31]
Tipos de tecnología usados en la gestión de residuos sólidos	Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las cosas (IoT)	[7],[20],[22],[23],[29],[33],[34],[35],[36]
	Sensores y radiofrecuencia	[19],[24],[29],[34]
	Digestión anaeróbica, incineración, gasificación y pirólisis	[22],[25],[26],[27],[28],[30],[31],[32]
Impacto ambiental positivo	Reducción de emisiones de gas de efecto invernadero (GEI)	[21],[26],[29],[31],[32],[33],[34],[35],[36]
	Mínimo consumo de energía en la tecnología aplicada	[25],[26],[29]
	Reducción de la contaminación de suelo, agua y aire	[7],[19],[21],[32]
	Preservar los recursos naturales (sostenibilidad)	[23],[27],[28],[30]

En los resultados obtenidos se contempla que, uno de los problemas más frecuentes encontrados en la gestión de residuos sólidos es la sobrecarga de vertederos al aire libre. Un caso de ello se da en Montreal (Canadá), donde no solo es una fuente de contaminación para los recursos naturales como suelo, agua y tierra sino también para la salud de las personas que comparten el espacio alrededor de estos residuos acumulados. [37]

En Filipinas, la situación es similar, aunque existe una ley a favor de la gestión ecológica; es decir, el reciclaje y la reutilización de residuos sólidos urbanos, los resultados

esperados son desfavorables debido a una limitación en la cantidad de lugares de recuperación de materiales. [38]

Otra inconveniente es la falta de clasificación de los residuos y para contrarrestar ello, en Singapur desarrollaron un modelo educativo que concientiza a las personas a usar pegatinas con códigos QR para identificar el tipo de cada bolsa de residuo generada [30]. Esto resulta favorable para la economía circular, en Italia hay un decreto supremo sobre el sistema integrado de gestión de residuos [36], con el fin de que el trabajo conjunto entre los consumidores, empresarios inversionistas y el gobierno, apunten a ello, generando ingresos y beneficios [31].

El agotamiento de los recursos naturales por la falta de reciclaje no es ajeno al tema, en Malasia aplican tecnología de conversión para transformar los materiales desechados en energía y disminuyendo así, el consumo de combustible fósil como el carbón y petróleo [34]. Asimismo, se puede obtener compostaje con características no perjudiciales a la calidad del suelo donde se utilice, lo cual contribuye en el ámbito de la agricultura reduciendo costos [37].

Además, la influencia del uso de tecnología en la gestión de residuos sólidos reduce las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), lo cual sería de gran ayuda en los vertederos de Malasia. Pues una característica de estos es que no tienen un sistema que controle la emisión de gas metano [32]. Por ejemplo, si los contenedores de desechos se encuentran llenos en su capacidad máxima, los sensores que contiene emitirán señal para su rápida descarga por algún camión recolector, evitando la sobrecarga y una imagen poco estética en la ciudad [35].

La gestión adecuada en el uso de recursos naturales es otro beneficio de la aplicación de tecnología en la gestión de residuos, debido al reciclaje y reutilización de estos. Pues, es posible crear fuentes renovables de energía y emplearlo en beneficio de las industrias [36], pero también de los ciudadanos a través del alumbrado público.

La gestión de residuos sólidos se enfrenta a grandes desafíos como el aumento exponencial de la generación de desechos, la limitada disponibilidad de vertederos y el impacto ambiental negativo. Afortunadamente, varios estudios toman en cuenta el desarrollo de tecnologías y herramientas innovadoras, tales como la inteligencia artificial (IA) e Internet de las cosas (Iot) que permiten realizar modelos de optimización de asignación y rutas para la automatización de los procesos de gestión de residuos sólidos donde se minimiza el tiempo total de viaje de los carros recolectores y costos de transporte debido a la ubicación estratégica de los vertederos garantizando su recolección clasificada y oportuna [11],[26],[41],[42].

Diversos estudios instauran herramientas innovadoras como los sensores y la radiofrecuencia [25] con el potencial de revolucionar la forma de manejo de los desechos. Uno de los hallazgos, implica un análisis del modelo de Sistema de Información Geográfica a través de un modelado matemático lineal en la zona urbana de Peshawar.

Como segundo hallazgo, se aplica el marco Teoría unificada de aceptación y uso de la tecnología [30] que reúne las características del usuario y otros parámetros con la intención de introducir la aplicación de reciclaje como es en caso de la ciudad de Nueva Jersey.

Se evidencia hallazgo en uno de los estudios, el desarrollo del nodo sensor y la puerta de enlace en un entorno en tiempo real [35] que evalúa niveles de llenado de los contenedores de forma inalámbrica de largo alcance, almacenando los datos en el servidor en la Nube. Así mismo, en India, se planea poner en efecto el sistema RFID (identificación por radiofrecuencia) [40] para la clasificación eficiente de residuos en función de la información almacenada.

El desarrollo de inteligencia artificial emerge para optimizar tecnologías de valorización, como la digestión anaeróbica, la incineración, la gasificación y pirólisis con la finalidad de ofrecer alternativas para convertir los residuos en energía o productos útiles generando sostenibilidad y rentabilidad. Para ello, algunos estudios realizan herramientas de algoritmos [28],[37], tecnología carbono-negativa en Malasia [32], uso del incinerador de hidrógeno para residuos con diferentes concentraciones de humedad como alimentos, textiles y papel [33], gasificación con vapor sobrecalentado [34] con el fin de ajustar el funcionamiento del Sistema de Pérdida de Energía y obtener un rendimiento óptimo de residuos; y como es el caso de Filipinas que evalúa invertir en tecnologías de conversión de residuos en vez de seguir depositando residuos en vertederos [38].

La influencia de la tecnología definitivamente transforma la gestión de residuos sólidos; como en el caso del estudio sobre la digestión anaeróbica [27], donde los resultados recomiendan esta actividad ya que no propicia la emisión gases de efecto invernadero en gran cantidad y además es viable económicamente. Comparando esta conclusión con otro estudio, que afirma que el compost y la digestión anaeróbica son los mejores escenarios de gestión de residuos [37].

Lee et al. (2022) demostró que la tecnología de la incineración de residuos de energía renovable es más respetuosa con el medio ambiente, así pues, refleja que al aplicarla hay una emisión de -573,80 kg de CO₂-eq mientras que con vertederos sanitarios emiten 566,15 kg de CO₂-eq. Por tanto, aplicar tecnología permite la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y reducir al mínimo el consumo de energía como la contaminación del suelo, agua y

aire [31], aprovechando los residuos y convertirlos en material útil [33], [34], [36].

La implementación de la tecnología permite adquirir un modelo en diferentes escenarios para una gestión de forma más sostenible, eficiente y responsable con el medio ambiente, por ende, es necesario invertir en tecnología de conversión para que los residuos sólidos generen energía y se obtengan costos bajos para el uso de este recurso, tal como lo prueba, Agaton et al. (2020) con la finalidad de abordar problemas en materia de gestión de residuos sólidos y sostenibilidad [34].

La limitación y el alcance de esta RSL, se centra en que los modelos propuestos en este estudio para los diferentes escenarios con problemáticas apremiantes en la gestión de residuos, no tiene el mismo impacto, en sociedades con economías incipientes.

Considerando que, la mayoría de los países posee una política de gestión de residuos deficiente e incluso, muchos no la tienen implementada aún, se considera importante profundizar y abordar el tema para investigaciones a futuro, con propuestas tecnológicas viables de desarrollo o aplicación de modelos sistemáticos de gestión de residuos, como enfatizar en el estudio de reaprovechar materia orgánica sin valor, para así contribuir tanto al cuidado medioambiental como en la salud humana. Una propuesta es la producción de energías renovables, o la fabricación de nuevos materiales biodegradables, que garanticen la disminución de la segregación de residuos al medio ambiente.

IV. CONCLUSIONES

En la revisión sistemática propuesta como metodología de estudio, se identificaron características propias sobre la publicación de trabajos y estudios de carácter científico compartidos en la base de datos indexados Scopus. Todo ello, a fin de dar respuesta al objetivo principal de la investigación, el cual es determinar la influencia positiva del uso de la tecnología en la gestión de residuos sólidos y su impacto al medio ambiente.

Por tanto, en la presente investigación, se reconoce que, la tecnología automatiza procesos y mejora la eficiencia operativa. Por lo que, favorece una gestión sostenible y responsable de los residuos, reduciendo los costos y tiempo.

Los tipos de tecnología identificados fueron, en primer punto, el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), lo cual ayuda a recopilar y verificar información en tiempo real para así determinar el momento exacto en que el contenedor de basura se encuentra lleno y necesita el envío de un camión recolector, evitando la sobrecarga y desborde de los residuos sólidos. Además, en ayuda del segundo punto, que son los sensores y sistemas de radiofrecuencia, se identificará la ubicación exacta de dicho contenedor para así establecer la

ruta óptima de recojo con el menor tiempo y costo empleado. El tercer punto, hace referencia a los procesos de conversión de residuos tales como la digestión anaeróbica, la gasificación, incineración y pirólisis, generando recursos renovables como energía o compostaje tanto para uso en las industrias como para el alumbrado público en beneficio de la ciudad.

Una adecuada selección estratégica de tecnología va a depender del análisis de casos donde se proporcione evidencia empírica sobre la aplicación práctica de tecnologías en la gestión de residuos sólidos que ofrece un modelo integral para la creación de sistemas de gestión de residuos circulares, integrando las dimensiones tecnológicas, económicas y ambientales. Como es el caso del estudio más relevante: “Diseño de sistemas de gestión de residuos sólidos para cumplir los objetivos de la economía circular: el caso italiano” (número de bibliografía), que luego de procesar datos econométricos, concluyen que el uso de vertederos debería reducirse en un 11.5%, así como la necesidad de aumentar en un 4.6% la capacidad de tratamiento en las plantas donde se realizan procesos de transformación de los desechos en importantes recursos energéticos. De este modo, implica un ahorro potencial anual de hasta 8.62 millones de euros al año, ya se puede observar que el costo de los servicios de gestión de residuos tiende a disminuir a medida que aumenta el uso de instalaciones de tratamiento integrado, digestión anaeróbica y compostaje.

Los estudios demuestran el potencial de la optimización matemática, los modelos de asignación y enrutamiento, y los sistemas de información geográfica (SIG) para optimizar la recolección, el transporte y el tratamiento de residuos sólidos, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad. Además, para generar un impulso a la investigación y desarrollo, proporcionan una base sólida para futuras investigaciones en áreas como la optimización de sistemas, la valorización energética, la aplicación de IoT y Big Data, y el diseño de sistemas inteligentes.

Por ello, la difusión de los avances tecnológicos en la gestión de residuos sólidos puede contribuir a la sensibilización y el empoderamiento de la sociedad sobre la importancia de un manejo responsable de los desechos. Así mismo, los resultados de las investigaciones pueden ayudar a tomar decisiones para evaluar diferentes opciones tecnológicas, optimizar la asignación de recursos y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos, que contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a los coordinadores de investigación de la Universidad Tecnológica del Perú Mg. Julio Chauca y Dr. Heli Lázaro, así como a todo el equipo que participó en la ejecución de esta investigación

REFERENCIAS

- [1] K. Quispe et al., "Solid Waste Management in Peru's Cities: A Clustering Approach for an Andean District," *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 1646, vol. 13, no. 3, p. 1646, Jan. 2023, doi: 10.3390/AP13031646.
- [2] S. Khan, R. Anjum, S. T. Raza, N. Ahmed Bazai, and M. Ihtisham, "Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives," *Chemosphere*, vol. 288, p. 132403, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132403.
- [3] C. Onesmo, E. B. Mabhuve, and P. M. Ndaki, "A Synergy Between Sustainable Solid Waste Management and the Circular Economy in Tanzania Cities: a Case of Scrap Metal Trade in Arusha City," *Urban Forum*, vol. 35, no. 1, pp. 47–64, Mar. 2024, doi: 10.1007/s12132-023-09493-z.
- [4] "Solid Waste Technology and Management - Google Libros." Accessed: Jul. 29, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4gx-bMOhpxEC&oi=fnd&pg=PT8&dq=Technology+and+its+influence+on+solid+waste+management&ots=dEHQ7wd6sB&sig=PllsV-v11KZU5BmPY4RpAUWmcM#v=onepage&q=Technology%20and%20its%20influence%20on%20solid%20waste%20management&f=false>
- [5] B. T. Mitab, R. M. Hamdoon, and K. Naba Sayl, "Assessing potential landfill sites using GIS and remote sensing techniques: A case study in Kirkuk, Iraq," *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, vol. 18, no. 3, pp. 643–652, Jun. 2023, doi: 10.18280/IJDNE.180316.
- [6] A. Alsobky, M. Ahmed, S. Al Agroudy, and K. El Araby, "A smart framework for municipal solid waste collection management: A case study in Greater Cairo Region," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 6, p. 102183, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.ASEJ.2023.102183.
- [7] H. Alimoradiyan, A. Hajinezhad, H. Yousefi, and M. Giampietro, "Fostering community participation in sustainable municipal solid waste management at multiple scales in Tehran, Iran," *Results in Engineering*, vol. 22, p. 102174, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.RINENG.2024.102174.
- [8] C. Arteaga, J. Silva, and C. Yarasca-Aybar, "Solid waste management and urban environmental quality of public space in Chiclayo, Peru," *City and Environment Interactions*, vol. 20, p. 100112, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.cacint.2023.100112.
- [9] H. Nisar, N. Ejaz, Z. Naushad, and Z. Ali, "Impacts Of Solid Waste Management In Pakistan: A Case Study Of Rawalpindi City," *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 109, pp. 685–691, May 2008, doi: 10.2495/WM080701.
- [10] I. R. Abubakar et al., "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 12717, vol. 19, no. 19, p. 12717, Oct. 2022, doi: 10.3390/IJERPH191912717.
- [11] M. Saad, M. Bin Ahmad, M. Asif, M. K. Khan, T. Mahmood, and M. T. Mahmood, "Blockchain-Enabled VANET for Smart Solid Waste Management," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 5679–5700, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3235017.
- [12] A. Minatta and M. Basani, "Ecosistema de innovación en el sector agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe: relevamiento y modelo de vinculación," Oct. 2022, doi: 10.18235/0004507.
- [13] K. M. N. Islam, "Huella de gases de efecto invernadero y flujo de carbono asociados con diferentes estrategias de gestión de residuos sólidos para el metabolismo urbano en Bangladesh," *Ciencia del Medio Ambiente Total*, vol. 580, pp. 755–769, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.022.
- [14] C. Huamaní Montesinos, J. W. Tudela Mamani, A. Huamaní Peralta, C. Huamaní Montesinos, J. W. Tudela Mamani, and A. Huamaní Peralta, "Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú," *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 22, no. 1, pp. 106–115, Jan. 2020, doi: 10.18271/RIA.2020.541.
- [15] R. He et al., "Global knowledge base for municipal solid waste management: Framework development and application in waste generation prediction," *J Clean Prod*, vol. 377, p. 134501, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.134501.
- [16] J. S. Triviño-Pineda, A. Sanchez-Rodriguez, and N. P. Peláez, "Biogas production from organic solid waste through anaerobic digestion: A meta-analysis," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, p. 100618, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.CSCEE.2024.100618.
- [17] D. I. Hussain, D. A. Elomri, D. L. Kerbache, and D. A. El Omri, "Smart city solutions: Comparative analysis of waste management models in IoT-enabled environments using multiagent simulation," *Sustain Cities Soc*, vol. 103, p. 105247, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.SCS.2024.105247.
- [18] A. Bernstad Saraiva, R. G. Souza, C. F. Mahler, and R. A. B. Valle, "Consequential lifecycle modelling of solid waste management systems – Reviewing choices and exploring their consequences," *J Clean Prod*, vol. 202, pp. 488–496, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.038.
- [19] M. A. Nanda et al., "The Waste-to-Energy (WtE) Technology to Support Alternative Fuels for Agriculture in the Context of Effective Solid Waste Management in the Jabodetabek Area, Indonesia," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 24, p. 7980, Dec. 2023, doi: 10.3390/en16247980.
- [20] F. Belotti, S. Daidone, G. Ilardi, and V. Atella, "Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Collection Services in Developing Countries: The Case of Chile," *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 15887, vol. 14, no. 23, p. 15887, Nov. 2022, doi: 10.3390/SU142315887.
- [21] Y. Romero, K. Melendez, and A. Dávila, "Modelos para el análisis comparativo de herramientas de software: Una revisión sistemática de la literatura," *Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP*, Jun. 2017, Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8837>
- [22] F. E. Castro-Velásquez, A. Benarroch Benarroch, F. E. Castro-Velásquez, and A. Benarroch Benarroch, "Tendencias investigativas en educación formal frente al agua: revisión sistemática en la literatura científica colombiana," *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, no. 53, pp. 102–120, Jan. 2023, doi: 10.17227/TED.NUM53-13648.
- [23] A. O. Tanash, K. Muthusamy, A. M. A. Budiea, M. A. Fauzi, G. Jokhio, and R. Jose, "A review on the utilization of ceramic tile waste as cement and aggregates replacement in cement based composite and a bibliometric assessment," *Clean Eng Technol*, vol. 17, p. 100699, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.CLET.2023.100699.
- [24] D. Moher et al., "Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement," *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, vol. 20, no. 2, pp. 148–160, Jan. 2016, doi: 10.1186/2046-4053-4-1/TABLES/4.
- [25] M. A. Khan et al., "Optimizing municipal solid waste management in urban Peshawar: A linear mathematical modeling and GIS approach for efficiency and sustainability," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, p. 100704, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.cscee.2024.100704.
- [26] O. Hashemi-Amiri, M. Mohammadi, G. Rahmanifar, M. Hajiaghaei-Keshтели, G. Fusco, and C. Colombaroni, "An allocation-routing optimization model for integrated solid waste management," *Expert Syst Appl*, vol. 227, p. 120364, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2023.120364.
- [27] W. A. Salah et al., "Analysis of Energy Recovery from Municipal Solid Waste and Its Environmental and Economic Impact in Tulkarm, Palestine," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 15, p. 5590, Aug. 2023, doi: 10.3390/en16155590.
- [28] J. Krümiņš and M. Kļaviņš, "Integrated Circulating Fluidized Bed Gasification System for Sustainable Municipal Solid Waste Management: Energy Production and Heat Recovery," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 13, p. 5203, Jul. 2023, doi: 10.3390/en16135203.
- [29] S. P. Suryodiningrat and A. Ramadhan, "Integrated Solid Waste Management System Using Distributed System Architecture for Indonesia: An IT Blueprint," *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, vol. 13, no. 3, pp. 1177–1183, Jan. 2023, doi: 10.18517/ijaseit.13.3.17307.
- [30] M. Sozoniuk, J. Park, and N. Lumby, "Investigating Residents'

- Acceptance of Mobile Apps for Household Recycling: A Case Study of New Jersey,” *Sustainability* (Switzerland), vol. 14, no. 17, p. 10874, Sep. 2022, doi: 10.3390/su141710874.
- [31] E. Nicolini, “The Circularity of MSW in Urban Landscapes: An Evaluation Method for a Sustainable System Implementation,” *Sustainability* (Switzerland), vol. 14, no. 12, p. 7358, Jun. 2022, doi: 10.3390/su14127358.
- [32] C. J. Lee, L. Chang, and J. Tan, “Environmental Sustainability Framework for Plastic Waste Management—a Case Study of Bubble Tea Industry in Malaysia,” *Process Integration and Optimization for Sustainability*, vol. 6, no. 2, pp. 513–526, Jun. 2022, doi: 10.1007/s41660-022-00230-w.
- [33] O. M. Butt et al., “Hydrogen as Potential Primary Energy Fuel for Municipal Solid Waste Incineration for a Sustainable Waste Management,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 114586–114596, Jan. 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3216706.
- [34] A. Q. Garcia, N. Nishiumi, A. Saito, E. Matsumura, and J. Senda, “Economic, environmental and energetic analysis of a distributed generation system composed by waste gasification and photovoltaic panels,” *Energies* (Basel), vol. 14, no. 13, p. 3889, Jul. 2021, doi: 10.3390/en14133889.
- [35] S. V. Akram et al., “Performance analysis of iot and long-range radio-based sensor node and gateway architecture for solid waste management,” *Sensors*, vol. 21, no. 8, p. 2774, Apr. 2021, doi: 10.3390/s21082774.
- [36] G. Di Foggia and M. Beccarello, “Designing waste management systems to meet circular economy goals: The Italian case,” *Sustain Prod Consum*, vol. 26, pp. 1074–1083, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.spc.2021.01.002.
- [37] T. Malmir, S. Ranjbar, and U. Eicker, “Improving municipal solid waste management strategies of montréal (Canada) using life cycle assessment and optimization of technology options,” *Energies* (Basel), vol. 13, no. 21, p. 5701, Nov. 2020, doi: 10.3390/en13215701.
- [38] C. B. Agaton, C. S. Guno, R. O. Villanueva, and R. O. Villanueva, “Economic analysis of waste-to-energy investment in the Philippines: A real options approach,” *Appl Energy*, vol. 275, p. 115265, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115265.
- [39] M. Wan, T. Qu, M. Huang, L. Li, and G. Q. Huang, “Cloud-based product-service systems platform for household solid waste classification management,” *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, vol. 2, no. 2, pp. 66–73, Jun. 2020, doi: 10.1049/iet-cim.2019.0062.
- [40] G. Senthilkumar, “Application of Smart Waste Management Strategies for Sustainable Waste Management,” *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, vol. 1, no. 6, pp. 643–649, Nov. 2019, doi: 10.34256/irjmtcon91.
- [41] S. D. Nagrale and S. B. Thakare, “Optimizing municipal solid waste transportation routes for pune city using MATLAB,” *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 925–929, Sep. 2019, doi: 10.35940/ijrte.C4096.098319.
- [42] Y. Xue, Z. Wen, H. Bressers, and N. Ai, “Can intelligent collection integrate informal sector for urban resource recycling in China?,” *J Clean Prod*, vol. 208, pp. 307–315, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.155.
- [43] M. del P. Sánchez-Muñoz, J. G. Cruz-Cerón, and P. C. Maldonado-Espinel, “Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina : un análisis desde la perspectiva de la generación.,” *Revista Finanzas y Política Económica*, vol. 11, no. 2, pp. 321–336, Jul. 2019, doi: 10.14718/REVFANZPOLITECON.2019.11.2.6.