

SALIDA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS EXPLORACIÓN CONSECUENTE DE LAS PERSPECTIVAS DE MODELIZACIÓN EN INVESTIGACIÓN ¹

Solid waste disposal in educational establishments consequent exploration of modelling perspectives in research

Schirly Johana Medina Pianetta ¹

<https://ORCID.ORG/0009-0009-3753-6611>

Luis Carlos Bermúdez Quintero ²

<https://ORCID.ORG/0000-0001-9275-9046>

Envío del artículo: 31/05/2024

Aceptación del artículo: 06/09/2024

Año: 2024. Numero: III. Volumen: I. Págs: 01 - 18

DOI:

Publicaciones Energizadas por:

[Editorial de las Ciencias - Ediciencias](#)



Resumen: Con las crecientes preocupaciones ambientales, la gestión eficaz de residuos sólidos (GRS) en las instituciones de educación superior (IES) se ha convertido en una parte fundamental de los esfuerzos globales de sostenibilidad. Estas instituciones no son sólo entornos de educación e investigación, sino que también son importantes generadores de tipos específicos de desechos, lo que requiere estrategias innovadoras de GRS. Esta revisión explora los métodos actuales de GRS, enfocándose en el papel del modelado estadístico para ayudar a mejorar estas estrategias, debido a su capacidad para identificar tendencias en la generación de desechos. Utilizando VOS viewer para un análisis bibliométrico detallado, el estudio identifica escenarios y estrategias actuales en esta área de investigación. Las características y recursos únicos de las IES muestran la importancia de diseñar modelos especializados de GRS. Un resultado significativo es la importancia de los elementos sociales; Las encuestas integrales que pueden incluir datos demográficos y socioeconómicos son importantes para establecer programas competentes de GRS. Sugiere que estas encuestas pueden proporcionar datos importantes sobre patrones de comportamiento que pueden afectar la GRS. Estos modelos pueden ofrecer información relevante, permitiendo a las IES ajustar con éxito sus programas, haciendo una contribución significativa a la sostenibilidad del campus y a objetivos ambientales más amplios; tanto en los países como el mundo entero.

Palabras clave: GRS, Bibliométricas, Instituciones educativas, Manejo de Residuos Sólidos. Revisión de Literatura

Abstract: With increasing environmental concerns, effective solid waste management (SWM) in higher education institutions (HEIs) has become a critical part of global sustainability efforts. These institutions are not only educational and research environments, but are also major generators of specific types of waste, necessitating innovative SWM strategies. This review explores current SWM methods, focusing on the role of statistical modeling in helping to improve these strategies, due to its ability to identify trends in waste generation. Using VOS viewer for detailed bibliometric analysis, the study identifies current scenarios and strategies in this research area. The unique characteristics and resources of HEIs show the importance of designing specialized SWM models. A significant result is the importance of social elements; comprehensive surveys that may include demographic and socioeconomic data are important for establishing competent SWM programs. It suggests that these surveys may provide important data on behavioral patterns that may affect SWM. These models can provide relevant information, allowing HEIs to successfully adjust their programs, making a significant contribution to campus sustainability and broader environmental goals, both within countries and worldwide.

Keywords: SRM, Bibliometrics, Educational Institutions, Solid Waste Management. Literature Review

1. Normalista Superior; Licenciada en Educación Básica Primaria; Msc. en Pedagogía Ambiental y Desarrollo Sostenible. Email: medinaschirly@gmail.com

2. I Licenciado en Filosofía y Educación Religiosa; Especialista en Ciencias Religiosas; Msc. Filosofía, de la Universidad Pontificia de Roma, Email: abadmakario@hotmail.com



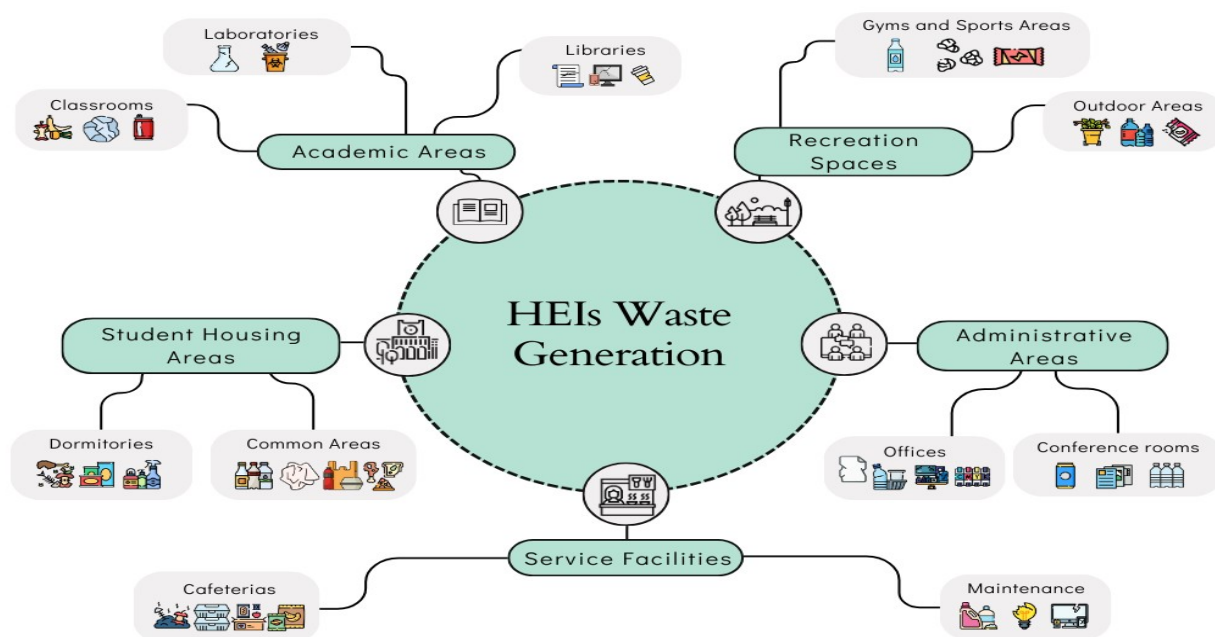
2. INTRODUCCIÓN

Ante el escenario actual, que se caracteriza por una creciente conciencia ambiental y la urgencia de implementar prácticas sustentables, las Instituciones de Educación (IE) surgen como actores importantes en la gestión ambiental. Estas instituciones, consideradas durante mucho tiempo como bastiones del capital intelectual, ahora enfrentan el desafío de ser líderes en sostenibilidad, particularmente en la gestión de residuos sólidos (GRS). Esta gestión no sólo implica creer en la importancia de la eliminación eficiente de una variedad de residuos generados en el campus, sino que también representa la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental de las IE. Las IES generan una importante cantidad y variedad de residuos, que pueden variar desde residuos orgánicos en comedores hasta residuos químicos y electrónicos generados en laboratorios y áreas administrativas (Smith, DP. et al 2010). Este nivel de complejidad añade otra capa de dificultad a la gestión de residuos, donde no se trata sólo de deshacerse de residuos de manera eficiente y al mismo tiempo respaldar objetivos de sostenibilidad a largo plazo. En este contexto, las limitaciones presupuestarias suelen plantear dificultades adicionales a la hora de intentar dar prioridad a la integración de recursos (Al-Shatnawi, Z. 2020).

Dada su capacidad para generar datos precisos y rigurosos sobre los patrones de composición de residuos, la modelización de residuos se considera un método líder dentro del marco actual de gestión de residuos. Al utilizar modelos estadísticos, las IE pueden anticipar y prepararse mejor para escenarios futuros, además de evaluar sus patrones de generación de residuos tal como todavía ocurren (Salas D. Et al 2021). Esta previsión es necesaria para una asignación exitosa de recursos y la implementación de métodos de gestión que sean a la vez eficientes y sostenibles. El análisis avanzado de la gestión de residuos cubre una amplia gama de temas, desde la clasificación básica de residuos hasta métodos de estimación (Parizeau, K. Et al 2006). Estos modelos son útiles para varias tareas, incluida la categorización y cuantificación de residuos, así como para encontrar formas de mejorar la gestión de residuos sólidos. Sin embargo, el nivel de conciencia y educación de la comunidad determina el éxito de cualquier estrategia de gestión de residuos (INECO - AAUD, Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017 - 2027).

Esto revela cuán necesario es integrar herramientas de gestión de residuos en la sociedad y en los procedimientos rutinarios de las IE para inculcar una actitud positiva en los estudiantes, los asesores académicos y la administración. Como parte de este estudio, se lleva a cabo una evaluación detallada de las técnicas de gestión de residuos, con énfasis en el componente de modelado del flujo de residuos. El objetivo de este estudio es proporcionar una visión más profunda de los marcos, tendencias y dificultades actuales en esta área y allanar el camino para futuros estudios y usos específicos en la gestión sostenible de residuos. En la Fig. 1 se ofrece una visión general de las operaciones de IE y de las muchas formas en que se pueden producir residuos. Al encontrar las fuentes de residuos, es importante ayudar a abordar las cuestiones de gestión de residuos, rastreando las áreas de intervención e implementando una gestión adecuada de los residuos. estrategias para cada tipo de residuo que se produce (Saldaña, C. Et al 2021).

Fig. 1: Generación de residuos de las IE



(Smyth, D. Et al. 2010); (Saldaña-Durán C. Et al. 2021); (Ghazvinei, P. Et al 2021); (Anne, M. 1996); (Moqbel, S. (2018); (Adeniran, A. Et al. 2017); (Kasam, F. Et al. 2018)

Como indica el punto central de la Fig. 1, la IES es la intersección de todas las actividades operativas que producen residuos. Las interacciones entre diversas actividades de mantenimiento, administrativas, educativas, estudiantiles y recreativas se reflejan en este núcleo. La necesidad de una estrategia integrada y variada de gestión de residuos se demuestra por el hecho de que cada uno de estos métodos eleva considerablemente el perfil general de residuos de la institución. Los entornos académicos, incluidos laboratorios, aulas y bibliotecas, generan una gran cantidad de desechos químicos y los desechos peligrosos se vuelven más frecuentes en los laboratorios; puede haber dificultades porque se deben seguir procedimientos adecuados de eliminación de desechos y estándares de seguridad y cumplimiento ambiental (Ghazvinei, P. 2021).

Sin embargo, la mayor parte de los residuos provenientes de las aulas y bibliotecas están compuestos por botellas de plástico de papel, latas y en algunos casos materiales diversos, lo que parece indicar que estas áreas utilizan una gran cantidad de materiales, tecnología y recursos educativos (Smith, DP. et al 2010). Se puede encontrar una amplia variedad de residuos en las zonas de residencia de los estudiantes, como los baños y los espacios compartidos. Estas áreas reflejan los hábitos de consumo de los estudiantes, produciendo desde residuos orgánicos hasta envases de alimentos y productos de higiene personal (M. Anne, M. y Felder, J. 1996). La gestión eficiente de residuos podría ser un problema en términos de potenciar las prácticas de separación de origen, reciclaje y reutilización entre la población estudiantil. Las instalaciones de servicio, que pueden incluir cafeterías y salas de mantenimiento, contribuyen significativamente a la generación de residuos. Las cafeterías son reconocidas por producir residuos orgánicos y una amplia gama de envases, lo que brinda posibilidades de soluciones de compostaje y reciclaje (Moqbel, S. 2018).

Las áreas de mantenimiento generan residuos especializados, como productos de limpieza y artículos desechables (Adeniran, A. Et al. 2017). Las oficinas y otras secciones administrativas de las IE producen una cantidad significativa de residuos de papel y electrónicos (Saldaña, C. Et al 2021). Los programas de reducción y reciclaje de papel son importantes, por lo que estas áreas, donde se desempeñan responsabilidades administrativas, producen una cantidad considerable de papel. Los residuos electrónicos pueden acumularse en diferentes ámbitos debido a la rápida obsolescencia de los equipos tecnológicos. Es necesaria una gestión eficaz de estos residuos, como el reciclaje de metales preciosos y baterías y la gestión de células, para reducir su efecto negativo en el medio ambiente (Saldaña, C. Et al 2021).

Los espacios de recreación se utilizan frecuentemente para reuniones y actividades estudiantiles, lo que genera una amplia gama de desechos que pueden incluir alimentos, envases de bebidas, plástico, latas y artículos decorativos y promocionales (Kasam, F. Et al 2018). La gestión de residuos en estos lugares debe considerar la necesidad de fomentar la participación comunitaria, especialmente durante festivales y reuniones. La comprensión de la diversidad en la generación de residuos en las IE enfatiza la importancia de gestionar cada área con estrategias únicas y adaptadas, así como la importancia de promover una cultura de sostenibilidad y responsabilidad ambiental en toda la institución.

3. METODOLOGÍA

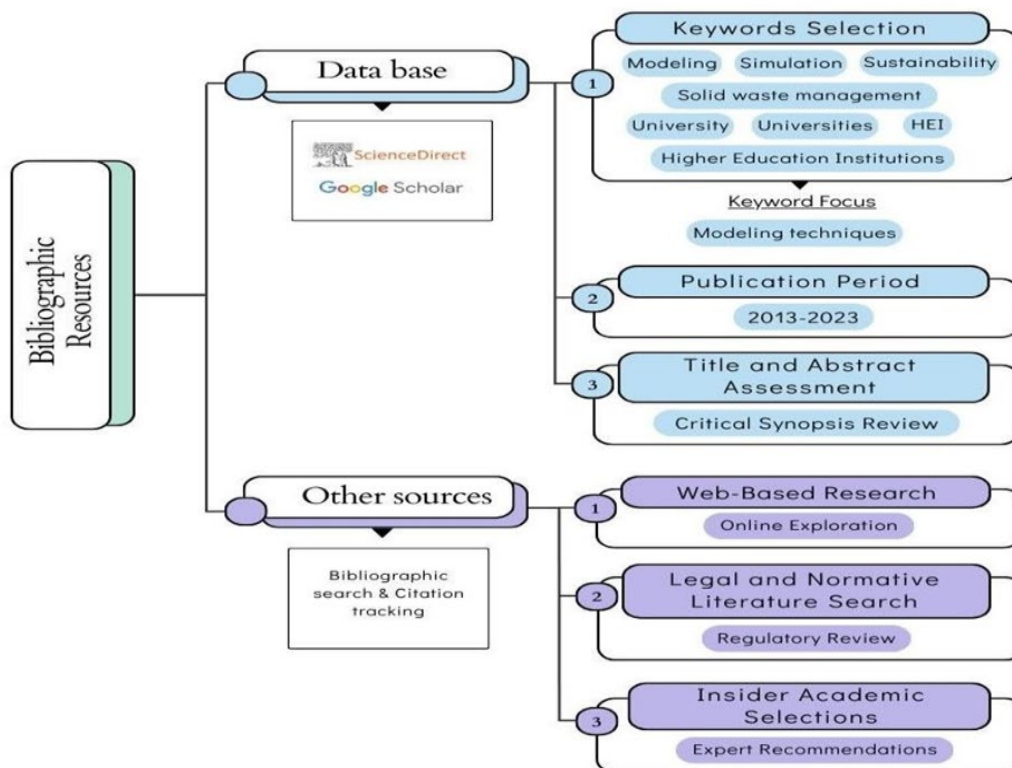


Fig. 2: Proceso de búsqueda de literatura.

Esta sección presenta en detalle el enfoque del estudio. Consta de dos partes: Análisis Bibliométrico y Enfoque de Búsqueda de Literatura. La atención se centra en los estudios actuales sobre gestión de residuos sólidos y sostenibilidad. El Análisis Bibliométrico presenta una evaluación integral del área de estudio, que brinda un análisis integral de los conceptos e ideas clave incluidos en la investigación académica.

A. Enfoque de búsqueda de literatura

La variedad de artículos publicados sobre este tema refleja la importante atención que ha recibido en las últimas investigaciones el conjunto de modelización, sostenibilidad y gestión de residuos sólidos (MSGRS). Además de conocer más sobre esta área, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica en Google Scholar y ScienceDirect, dos bases de datos que fueron seleccionadas por su confiabilidad y relevancia en los dominios de ciencia y tecnología. Se aplicaron las siguientes palabras clave como criterios iniciales para encontrar estudios relevantes: "Modelado" O "Simulación") Y "Gestión de residuos sólidos" Y "instituciones educativas" O "IE" O "Instituciones de Educación sostenibles" O "IES" Y "Sostenibilidad".

Era indispensable limitar y perfeccionar la búsqueda para hacerla más manejable y específica, dada la amplia gama de investigaciones a las que se podía acceder. Para mantenerse enfocado en los componentes más importantes, esta actividad requirió reescribir y optimizar las palabras clave de búsqueda orientadas a características relevantes relacionadas con el modelado en la gestión de residuos.

El año de publicación fue otro factor utilizado para la selección de los artículos. Para garantizar la exactitud y consistencia de los datos, se dio prioridad a las investigaciones publicadas durante la década anterior, de 2013 a 2023. La evaluación inicial se basó mayoritariamente en los títulos de los artículos y resúmenes, que se utilizaron para determinar cuáles de ellos fueron más relevantes para el tema central del estudio mediante una revisión de sinopsis crítica basada en los objetivos del estudio. Las publicaciones elegidas fueron clasificadas según el nivel de análisis y relevancia para los objetivos del estudio. Se utilizaron categorías de relevancia alta, media y baja para obtener una comprensión más sutil de las principales tendencias y descubrimientos en el área de investigación. Al proporcionar información que fue directamente útil para la investigación, los artículos altamente relevantes e importantes establecieron el vínculo entre la metodología y las estrategias sostenibles de gestión de residuos. Para formar correctamente el estado del arte y garantizar una comprensión conceptual detallada y crítica de las tendencias y resultados más actuales en la línea de trabajo, este proceso de selección y clasificación fue fundamental. Como tal, la investigación incluyó métodos de búsqueda complementarios denominados "Búsqueda bibliográfica" y "Seguimiento de citas" (Pantusheva, M. Et al, 2022) como técnicas complementarias. Esta búsqueda manual exhaustiva se realizó como parte del estudio de fuentes, incluidos libros, artículos periodísticos, documentos legislativos y literatura gris. Esto presentó un conocimiento y una comprensión más amplios de las dimensiones prácticas e históricas del campo. Higo.2 muestra cómo se presenta el marco de búsqueda.

B. Análisis bibliométrico

El análisis bibliométrico se diseñó con el software VOS viewer, que representa gráficamente las interacciones entre frases y conceptos clave en trabajos académicos. La configuración utilizada para recopilar términos de resúmenes y títulos de artículos fue el conteo binario. Además, una frase debía cumplir el criterio mínimo de cuatro ocurrencias para ser considerada en el análisis. Entre el conjunto inicial de 2339 términos identificados, 124 cumplieron el criterio de relevancia, lo que demuestra su relevancia en el ámbito de los residuos sólidos.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El resultado de la investigación se discute y analiza en esta sección. La interpretación de palabras clave y conceptos destacables para encontrar la conexión entre los datos recogidos y las inferencias que se pueden hacer a partir de ellos.

El gradiente de color de la visualización se correlaciona directamente con una narrativa que se encuentra en la discusión, que sigue el camino desde comprender los atributos de los residuos hasta tener que poner en práctica una gestión transformadora y, al final, examinar de cerca las implicaciones ecológicas más amplias. Esta transformación en el entorno académico afirma la importancia de la investigación y el trabajo, como la creación de modelos estadísticos para predecir patrones de generación de residuos, que estén alineados con los últimos avances en técnicas de gestión de residuos respetuosas con el medio ambiente. Ampliando este marco, los siguientes segmentos examinarán los elementos clave señalados anteriormente. Estos conceptos, importantes para la formación de prácticas sostenibles, se analizarán cuidadosamente en términos de su posible aplicación, relevancia e impacto en cómo se estructurará la gestión de residuos en el futuro.

B. Residuos Sólidos

Se necesitan diferentes técnicas de investigación para los residuos sólidos, una preocupación ambiental importante. Los residuos sólidos se estudian desde diferentes perspectivas, como su composición, generación, impactos en las personas y el medio ambiente. Una comprensión detallada de los mecanismos de las características de los residuos y los factores socioeconómicos que influyen en su generación y gestión parece ser esencial para este campo. (INECO - AAUD, "Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017 - 2027", 2017).

La investigación sobre residuos sólidos es el principal impulsor del cambio en las metodologías de investigación porque requiere una recopilación exhaustiva de datos, métodos analíticos y un enfoque multidisciplinario. Esto se demuestra en un estudio realizado por la Universidad de Johannesburgo (Ayeleru, O. Et al 2023) que compara varios tipos y porcentajes de residuos utilizando la fórmula de proporción de categorías de residuos (WCP, por sus siglas en inglés) como en (1).

Si bien las pruebas de hipótesis de muestras grandes emplean con frecuencia procedimientos como la prueba de Chi-cuadrado, en este caso su uso se concentra en examinar la asociación entre los atributos demográficos de los usuarios y los patrones de generación de desechos. Para establecer métodos de gestión sostenible, el examen de estas interacciones facilita un mayor conocimiento de las variables que impactan en la generación de residuos. Como se ve en el análisis de la literatura, la Tabla 1 proporciona una descripción visual del desarrollo y los patrones predominantes en los enfoques estadísticos. Es importante realizar esta prueba para ver si existe una correlación significativa entre las variables categóricas, ya que esto podría señalar una conexión entre las características de los usuarios y cómo producen residuos. La Tabla 1 ofrece una representación visual de los avances y tendencias predominantes en las técnicas estadísticas como se observa en la revisión de la literatura.

Tabla 1: Aplicabilidad del método estadístico

ÁRBITRO	AÑO	MÉTODO	ECUACIÓN	Nº	VARIABLES	APLICABILIDAD
[13]	2023	WCP	$\frac{WCP}{\text{Waste Category Amount}} = \frac{\text{Total Generated Waste}}{\text{Total Generated Waste}}$	(1)	WCA: Proporción de un tipo de residuo específico (por ejemplo, plásticos) en el total de residuos. TGW: Residuos totales recogidos durante un período determinado.	Calcular y comparar porcentajes de diferentes tipos de residuos.
[13]	2023	Chi-square test	$\chi^2 = \sum \left(\frac{(O - E)^2}{E} \right)$	(2)	O: Frecuencias de residuos por grupo demográfico (p. ej., residuos plásticos de profesores) E: Frecuencias si no existe una relación variable. χ^2: conexión entre demografía y patrones de residuos.	Calcular la relación entre los usuarios, demográfico Características y tipos de residuos generados.
[15]	2021	DEA				Análisis del mecanismo de influencia en los residuos, separación dentro del comunidad. Clasificación municipal Residuos Sólidos
[17]	2021					Medición relativa eficiencia de las unidades de toma de decisiones Residuos Sólidos Municipales
[14]	2019					Evaluar la eficacia de la gestión de residuos en América Latina
[16]	2018					Instrumento de recolección de datos, auditoría y desarrollo de un modelo con validación cruzada.
[18]	2022					Predicción de la generación de residuos sólidos en RSU.
[19]	2016	MLR	$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$	(3)	Y: variable dependiente (p. ej., cantidad de residuos generados). β_0: interceptar (por ejemplo, cantidad de desperdicio esperado si no hubiera estudiantes). β_1: pendiente (por ejemplo, aumento promedio en la generación de desechos por cada estudiante adicional). X: variable independiente (p. ej., número de estudiantes). ε: error aleatorio (diferencia entre el valor real y el valor predicho por el modelo).	Mejora de residuos predicción de flujo y gestión.
[20]	2023					ABM

Propia de los autores

Se necesitan enfoques estadísticos para la evaluación y mejora de las técnicas de gestión de residuos. El Análisis Envolvente de Datos (DEA), tal como se aborda en (Margallo, M Et al 2019), se vuelve fundamental en este escenario para evaluar la eficacia de los sistemas de gestión de residuos. DEA es un modelo analítico de medición del desempeño que se centra en la efectividad operativa de diferentes entidades o unidades de toma de decisiones (DMU). Con esta estrategia, se examina cuidadosamente el proceso mediante el cual estas unidades transforman los recursos (insumos) en comparación con las metas (productos), proporcionando una buena comprensión de su eficiencia operativa. Asimismo, las investigaciones en (Wang, X. 2021); (Abdulredha, M. Et al, 2018); (Lombardi, G. Et al. 2021) señalan la importancia del análisis estadístico. Estos estudios aclaran las ganancias de eficiencia que se pueden alcanzar mediante la asimilación de modelos estructurales, DEA y análisis estadístico. Cuando se combinan, estos enfoques ofrecen una base sólida para comprender las complejidades de la gestión de residuos y tratar de localizar áreas de optimización. (Lombardi, G. Et al. 2021) Coloca mucho énfasis en la eficacia de los servicios de gestión de residuos asistidos. Por ejemplo, la DEA se utilizó en todas las escuelas en los municipios italianos para analizar y tener el contraste de los residuos disponibles en dichas áreas y obtener los resultados, como el compostaje y el reciclaje. (Életal, R. 2022).

Además de utilizar una variedad de técnicas estadísticas, el estudio de referencia (Wang, X. 2021) analiza los comportamientos de separación de residuos. Identifica importantes tendencias de residuos, patrones de separación e implementa análisis factorial y análisis de modelos estructurales utilizando IBM SPSS Statistics. No obstante, se han logrado avances sustanciales en el modelado estadístico de residuos sólidos, como lo demuestra (Abdulredha, M. Et al, 2018), que emplea un modelo de regresión lineal múltiple (MLR). Al utilizar la ecuación MLR (3), este modelo examina el complejo vínculo entre ciertos factores y la producción de residuos sólidos municipales (GRS). Sin embargo, el autor (Kolekar, K. Et al. 2016) va un paso más allá en el uso de estas estrategias al integrar variables socioeconómicas y demográficas como el Producto Interno Bruto, el PIB y la educación, demostrando una amplia gama de metodologías avanzadas en la investigación sobre la gestión de residuos sólidos. El autor coloca énfasis en lo crucial que es el modelado predictivo para el desarrollo y evaluación de técnicas de gestión de residuos respetuosas con el medio ambiente. Además, (Tong, X. Et al., 2023) presenta un sofisticado modelo basado en agentes (ABM) que replica la participación ciudadana en el gobierno de Beijing. iniciativas de reciclaje. Este modelo, que se basa en la Teoría del Comportamiento Planificado y se ve reforzado por encuestas de hogares, ofrece información esencial para estimar la producción de residuos y evaluar la eficacia de técnicas de gestión de residuos respetuosas con el medio ambiente.

C. Gestión

La palabra "gestión" ha llegado a definir un método analítico además de integral. Un factor vital en este desarrollo es el "modelado", que también ofrece una forma establecida y mensurable de gestionar las dificultades de la gestión de residuos. Este cambio hacia el uso de técnicas de modelado significa un movimiento sustancial hacia técnicas basadas en datos y planificación estratégica. Al emplear diversos marcos matemáticos, la gestión de residuos trasciende la eliminación de residuos y, en cambio, adopta un método asertivo y anticipatorio. Un método de optimización especializado llamado Programación lineal entera mixta (MILP) logra combinar la programación lineal con limitaciones de números enteros. Es excelente para tratar de abordar situaciones exigentes que incluyen variables tanto discretas como continuas (Asefi, H. y Lim, S. 2017). Debido a su flexibilidad, este método es especialmente bueno para la planificación estratégica y operativa en la industria de gestión de residuos. En la investigación se utilizó MILP (Hannan, M. Et al. (2020), para fortalecer las rutas de recolección de residuos. Para aumentar la eficiencia de la recolección de residuos, la función objetivo del modelo decidió buscar reducir las distancias generales entre las estaciones de recolección. Esta aplicación MILP destaca porque prioriza la optimización de la gestión de residuos.

(Habibi, F. Et al 2017), decidió hacer uso de este método para resolver simultáneamente diversos objetivos importantes de gestión de residuos. Entre ellas se encontraban la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución del efecto visual y la reducción de los gastos fijos y operativos. Su enfoque fue más amplio y tuvo en cuenta la rentabilidad y los factores ambientales. La inclusión de las emisiones de gases de efecto invernadero en el objetivo de optimización ilustra cómo los sistemas de gestión de residuos están empezando a centrarse cada vez más en la responsabilidad medioambiental. Además de eso, los trabajos de (Saif, Y. Et al 2017) y (Saif, Y. Et al 2022) ilustran aún más la adaptabilidad de MILP. El primero discutió las incertidumbres inherentes en la cantidad de desechos y los costos de los materiales reciclables mediante el desarrollo de un modelo MILP de dos etapas en línea con los conceptos de gestión de la cadena de suministro y economía circular. Se utilizó el enfoque de descomposición de Bender para

controlar la complejidad de este modelo, lo que demuestra la capacidad de MILP para abordar cuestiones complicadas de gestión de residuos (Saif, Y. Et al 2022).

El estudio de referencia (Šomplák, R Et al 2019), que también aplica MILP, destacó la necesidad de combinar la eficiencia económica con el efecto ambiental. Esto es consistente con una tendencia más general en la industria, donde la reducción de costos se ve cada vez más junto con el aprovechamiento al máximo de los recursos financieros disponibles para una gestión eficiente de los residuos. Un avance importante en la disciplina es el uso de técnicas matemáticas avanzadas en modelos de gestión de residuos. Por ejemplo, el estudio (Johnson, M. Et al. 2018) estima la durabilidad de los aparatos eléctricos utilizando la distribución Weibull (4). Predecir cuándo estos aparatos se convertirán en basura es una capacidad particularmente útil cuando se trata de organizar la gestión de residuos electrónicos en Irlanda. El tamaño de (λ) y forma (k) Los parámetros de la distribución de Weibull permiten ajustarla a una variedad de patrones de distribución de datos, lo que la convierte en una herramienta sólida para modelar datos de tiempo hasta el evento.

$$f(t; \lambda, k) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^k}$$

En otro ejemplo, (Grazhdani, D. 2016) analiza el problema de la multi-colinealidad en los estudios de gestión de residuos. La forma de alinear las variables predictivas en un modelo de regresión es un fenómeno estadístico que tiene el potencial de sesgar o invalidar las conclusiones del modelo. La investigación evalúa y reduce el efecto de la multi-colinealidad utilizando métodos como el Factor de Inflación de Varianza (VIF) y el coeficiente de correlación de Pearson. Esta estrategia fue importante para comprender con precisión cómo los aspectos socioeconómicos y demográficos impactan las prácticas de reciclaje de residuos de Prespa Park. Este caso específico ofrece información útil sobre los desafíos de la gestión de residuos en áreas naturales protegidas, donde es de suma importancia.

El uso de redes neuronales para describir patrones intrincados y erráticos en la formación de GRS se demuestra en el trabajo de (Sun, N. y Chungpaibulpatana, S. 2017). Las redes neuronales pueden evaluar correlaciones complejas y no lineales dentro de vastos conjuntos de datos porque están inspiradas en la estructura y función del cerebro humano. Su aplicación en el modelado de gestión de residuos permite un mayor análisis de los patrones de generación de residuos, vital para desarrollar estrategias eficaces de gestión de residuos.

No obstante, el trabajo de (Liet, Z. Et al. 2022) muestra el empleo de modelos de optimización nítidos y difusos en la gestión de residuos sólidos. El modelo nítido ofrece objetivos precisos y mensurables para reducir gastos y emisiones de gases de efecto invernadero. Por el contrario, el modelo difuso gestiona hechos y objetivos ambiguos o poco claros, lo cual es fundamental en situaciones de imprevisibilidad como la producción de residuos. Acorde lo planteado por (Garavit, J. 2020) Este modelo dual garantiza métodos completos de gestión de residuos al abordar tanto la flexibilidad de los sistemas difusos como la precisión del modelado de los datos de forma nítida. Los sistemas dinámicos son fundamentales para el modelado de gestión de datos de los residuos porque proporcionan un avance completo en la comprensión y previsión de cómo los sistemas de gestión de residuos cambian con el tiempo (Roberts. K. Et al. 2018). Al utilizar una fórmula de generación

de residuos, los modelos dinámicos son especialmente buenos para imitar las modificaciones y avances en los sistemas de gestión de residuos a lo largo del tiempo:

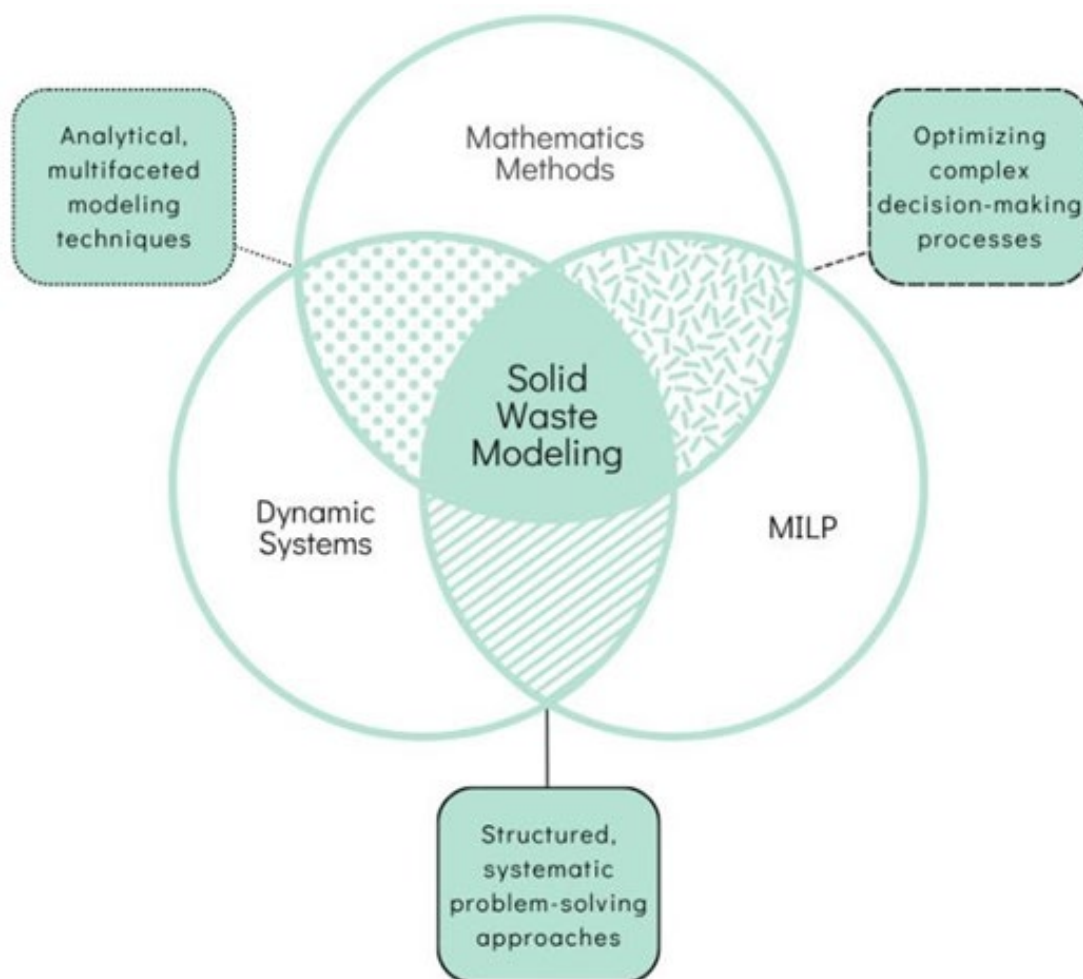
$$W_t = W_0 \times (1 + r)^t$$

Dónde W_t representa la cantidad de desperdicio en el momento, W_0 es la cantidad inicial de residuos, y t es la tasa de crecimiento anual.

Una característica destacable de estos trabajos es la Optimización Multi-objetivo. Este método busca soluciones que logren un compromiso entre los objetivos, incluida la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica (Sun, N. y Chungpaibulpatana, S. 2017). Se pueden integrar diversos objetivos gracias a la optimización multi-objetivo, que garantiza que las técnicas de gestión de residuos sean ecológica y financieramente sólidas (Di Nola, M. Et al. 2018). También es bien sabido que los algoritmos genéticos pueden imitar procesos evolutivos del mundo real. Por otro lado, la dinámica de sistemas es una metodología valiosa para simular interacciones y retroalimentación dentro de sistemas complejos (Pinha, A. y Sagawa, J. 2020). Por ejemplo, la referencia (Di Nola, M. Et al. 2018). aplicó la dinámica del sistema para modelar la gestión de residuos sólidos en Campania, Italia. Este enfoque ayuda a comprender la dinámica colaborativa y responder a los diferentes componentes de un sistema de gestión de residuos a lo largo del tiempo con diversas condiciones y políticas. El modelo propuesto se divide en componentes interconectados, que representan varios aspectos de la gestión de residuos.

La interacción entre los métodos matemáticos, MILP y los sistemas dinámicos como un enfoque variado para el modelado de residuos sólidos se refleja en el diagrama de Venn de la Fig. 4. El campo de los métodos matemáticos y MILP se relaciona con la optimización de procedimientos complejos de toma de decisiones. Su objetivo es mejorar las habilidades de resolución de problemas mediante la aplicación de métodos matemáticos. Tanto MILP como los sistemas dinámicos son sistemas sistemáticos de resolución de problemas, lo que significa que utilizan métodos sistemáticos y ordenados para resolver problemas que podrían volverse más complejos con el tiempo. Cuando los métodos matemáticos y los sistemas dinámicos chocan, surge un enfoque de modelado analítico y multidimensional, lo que muestra cómo los métodos matemáticos y los sistemas dinámicos pueden combinarse y examinarse en profundidad. exhaustivamente. La capacidad de estas disciplinas para trabajar juntas para crear modelos complejos de gestión de residuos sólidos se refleja en estas intersecciones.

Fig. 4: Modelado de residuos sólidos



**Modelado de residuos sólidos.
Autoría propia 2024**

D. Generación de Residuos Sólidos

La Generación de Residuos Sólidos se refiere a todos los residuos producidos por una actividad, y cuya gestión es fundamental para la sostenibilidad ambiental. La clave para esto es la 'Caracterización', es decir, un análisis detallado que identifica los tipos, el origen y la cantidad de residuos. Estos esfuerzos son importantes para la gestión de residuos y guían el desarrollo de estrategias para reducir el volumen de residuos y mejorar la recuperación de recursos. Al comprender la composición de los residuos, las IE pueden ajustar las prácticas de eliminación de residuos, mejorar el reciclaje y planificar la eliminación de residuos. Los datos de estos estudios son vitales para desarrollar modelos que predigan los patrones de desechos y ayuden a las instituciones a gestionar los desechos de manera más efectiva y reducir sus impactos ambientales (Zekkos, D. 2022). Según la literatura consultada en este análisis, la mayoría de los estudios enfatizan el valor de elaborar una caracterización de residuos utilizando bases de datos históricas (Zekkos, D. 2022). Estas bases de datos son útiles para desarrollar modelos predictivos, ya que proporcionan una representación espacial de los patrones de generación de GRS (Bing, X. Et al. 2016). Los estudios centrados en las IE (Soo Jung, B. 2023) utilizan las normas ASTM-D 5231-92 para las metodologías de medición.

La norma ASTM-D 5231-92, titulada "Método de prueba estándar para la determinación de la composición de residuos sólidos urbanos no procesados", describe un conjunto de métodos para medir los residuos sólidos mediante la selección manual y el puntero de los residuos sólidos urbanos mediante la recolección y distribución de muestras. Esto incluye procedimientos para la obtención de muestras, identificación manual de diferentes tipos de residuos, registro de datos y presentación de resultados (ASTM International, 2016).

En casos como el estudio realizado en la referencia [38], las metodologías seleccionadas se diseñaron de acuerdo con los requisitos específicos del entorno de investigación, ya que no existen estándares directos para entornos tan especializados. Esto indica una brecha en la estandarización de los métodos de caracterización de residuos y es una oportunidad para desarrollar protocolos personalizados que puedan cumplir con los requisitos únicos de gestión de residuos de las IE. Por otro lado, los artículos estudiados muestran el papel integral de la Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) utilizando los datos recopilados. Este método, que evalúa los impactos ambientales de productos o procesos desde el inicio hasta el final de su vida útil, ha sido especialmente útil en investigaciones actuales destinadas a mejorar las estrategias de gestión de residuos (Aguilar, O. 2021).

Como en (Életal, E. 2022), esta metodología enfatiza la necesidad de datos precisos y cuantificables y un control de calidad absoluto de la recopilación de datos para evaluar consistentemente la generación y el tratamiento de residuos sólidos. El ACV para MSWM se centra en el impacto de las tecnologías de generación y tratamiento de residuos en los resultados del ACV, considerando cada paso (Zhang, J.2021) El estudio (Torkayesh, A. Et al., 2022) amplía el análisis del ACV y la toma de decisiones multi-criterio (MCDM) para evaluar las prácticas y modelos actuales de gestión de residuos y mostrar aspectos de sostenibilidad, rentabilidad y planificación estratégica como herramientas clave para resolver problemas como herramientas primarias para resolver problemas ambientales, sociales y económicos en el proceso de gestión de residuos. (Dastjerdi, B. 2021) se centra en la aplicación del ACV para evaluar los impactos ambientales de diferentes estrategias de gestión en Nueva Gales del Sur (NSW), Australia. Este estudio explora una variedad de prácticas, desde la incineración hasta la conversión de residuos en energía, comparando seis escenarios operativos, incluido el uso de la tierra como punto de referencia. También examina los efectos adversos sobre la salud humana y el ecosistema, indicando que las estrategias de gestión de residuos que se centran en la prevención y la recuperación de recursos demuestran la eficacia del ACV como un enfoque crítico para desarrollar prácticas de gestión de residuos sostenibles y eficientes.

E. Programa

En el contexto de la gestión de residuos sólidos, el programa representa un marco integral destinado a racionalizar y mejorar las prácticas de eliminación de residuos. Pero la eficacia de estos programas reside en las condiciones sociales. Esto incluye los factores humanos (actitudes, comportamientos, normas culturales) que desempeñan un papel clave en la configuración del éxito de una estrategia de gestión de residuos. Los programas que integran directamente estos sectores sociales promueven la participación comunitaria, fomentan prácticas sostenibles de gestión de residuos y crean prácticas de protección ambiental (Adusei, K. Et al. 2022). Por tanto, son necesarias las encuestas, especialmente en la gestión de residuos sólidos de las IE. Su importancia radica en la

recopilación de datos cuantitativos y en la captura de las percepciones y actitudes de la comunidad, que son vitales para desarrollar estrategias integrales de gestión. Las encuestas se integran en la investigación para facilitar el análisis y la comprensión de las prácticas, comportamientos y desafíos actuales de gestión de residuos (Grazhdani, D. 2016). Los datos obtenidos de las encuestas son variables importantes en los modelos estadísticos, mejorando la precisión y relevancia del análisis predictivo. Las encuestas también proporcionan las opiniones de las partes interesadas, lo que permite a los investigadores medir el nivel de conciencia y compromiso con las prácticas sostenibles en materia de residuos (Tong, X. Et al. 2023) También juega un papel influyente en la evaluación de la comprensión del modelo y ayuda a que las estrategias desarrolladas se centren en las necesidades y motivaciones de la industria (Galván, S. Et al. 2022).

5. CONCLUSIONES

Este estudio, que se centra en llamar la atención sobre un aspecto importante de la sostenibilidad ambiental que con frecuencia se ignora, ha sido posible identificar las dificultades y problemas distintivos que enfrentan estas IE. Los puntos principales se enumeran en las siguientes conclusiones, que resaltan la pertinencia de ajustar las prácticas y modelos de gestión de residuos para que se ajusten a las necesidades de los establecimientos educativos.

- Aspectos perceptibles en la exploración de la literatura:

A pesar del enfoque en las IE, la revisión de la literatura arrojó artículos relacionados con la GRS que muestran las diferencias entre métodos utilizados en la investigación centrándose en los aspectos de cada sistema y método. Estas diferencias se pueden atribuir a la complejidad de la investigación, la dependencia de datos históricos y la cantidad de trabajo no es completamente comparable al de las IE. Estudios anteriores centrados en los GRS han pasado por alto la dinámica única de las universidades, lo que indica que los modelos de IE siguen sin explorarse. Además, la mayoría de los estudios se basan en información publicada previamente sobre la caracterización de residuos, que es adecuada para las IE. Aunque los estudios utilizan las normas ASTM para la identificación de desechos, éstas no son ideales, especialmente en entornos universitarios donde las limitaciones de recursos obstaculizan la adopción de estas normas

- Modelos concretos de IE:

Conociendo estos hechos, es importante crear sistemas y metodologías de modelado que estén dirigidos a las IE. Los métodos estadísticos son útiles para establecer diferentes métodos de modelización que permitan investigar en profundidad las tendencias de generación de residuos, contribuyendo a una mejor comprensión de las dificultades actuales y definiendo estrategias futuras para una gestión eficaz y sostenible de los residuos, contribuyendo así al bienestar general y la sostenibilidad del campus.

- Papel de los componentes sociales:

Además, es importante enfatizar el importante papel de los factores sociales en la gestión de residuos sólidos. Los estudios recomiendan la necesidad de realizar encuestas estructuradas para recopilar perspectivas sobre los comportamientos y actitudes en materia de generación de residuos y reciclaje. El uso de encuestas integrales es un paso crítico en la recopilación de datos sobre cómo los factores socioeconómicos y demográficos influyen en las prácticas de gestión de residuos. Esta comprensión más profunda es clave para identificar áreas de mejora y oportunidades para implementar estrategias de gestión de residuos más efectivas.

Los datos recopilados a partir de estas encuestas constituirán una base sólida para establecer modelos de gestión de residuos adaptados a las IE. Dichos modelos pueden abordar específicamente los ciclos de vida de los residuos y la interacción de los usuarios con los sistemas de gestión actuales. Este aspecto mejorará la eficiencia y la sostenibilidad de las prácticas de gestión de residuos en las IE y las alinearán con los objetivos de desarrollo sostenible y fomentará una cultura de responsabilidad ambiental en el mundo académico. La recopilación y el desarrollo de métodos de muestreo de residuos es una forma eficaz de avanzar hacia la gestión sostenible de residuos y la comprensión de las IE. Estos esfuerzos allanan el camino para que las IE establezcan un modelo para adoptar prácticas ambientales innovadoras y efectivas.

Para mejorar la gestión de residuos en las IE, se recomendará explorar el establecimiento de programas de capacitación regulares que enfatizan el valor de la reducción de residuos en la fuente utilizando materiales reutilizables y biodegradables. Es necesario educar al personal y a los estudiantes sobre prácticas sostenibles. La obtención de certificaciones ambientales puede demostrar la dedicación de una organización a la sostenibilidad y establecer estándares para desarrollo continuo. Además, las evaluaciones periódicas del impacto ambiental de los procedimientos de gestión de residuos respaldarán futuros esfuerzos de mejora al proporcionar documentación de su eficacia.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACH Pinha y JK Sagawa, (2020) Un enfoque de modelado de dinámica de sistemas para la gestión de residuos sólidos municipales y el análisis financiero. *Producto limpio J*, vol. 269.
- AE Adeniran, AT Nubi y AO Adelopo, (2017) Generación y caracterización de residuos sólidos en la Universidad de Lagos para una gestión sostenible de los residuos - vol. 67.
- AE Torkayeshet al., (2022) Integración de la evaluación del ciclo de vida y la toma de decisiones multi-criterio para la gestión sostenible de residuos: cuestiones clave y recomendaciones para estudios futuros, *Reseñas de energías renovables y sostenibles*, vol. 168.
- Aguilar Orlando, Estrada Victoria y Boniche Nathaly, (2021) Producción de compost a partir de los residuos orgánicos provistos por las cafeterías del campus central de la Universidad Tecnológica de Panamá.
- ASTM International, (2016) Designación: D5231 – 92 Método de prueba estándar para la determinación de la composición de residuos sólidos municipales sin procesar 1, págs. 1.
- B. Dastjerdi, V. Strezov, R. Kumar, J. He y M. Behnia, (2021) Evaluación comparativa del ciclo de vida de escenarios de soluciones de sistemas para la gestión de residuos sólidos municipales residuales en Nueva Gales del Sur, Australia. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, vol. 767.

- B. Soo Jung, (2023) Pautas para hacer que la Escuela de la Universidad de Victoria de Arquitectura y Diseño neutral en carbono al minimizar su dependencia de las compensaciones de carbono. CE Saldaña-Durán y SR Messina-Fernández, (2021) Evaluación del reciclaje de residuos electrónicos en el campus universitario: una estrategia hacia la sostenibilidad. *Sostenimiento del desarrollo ambiental*, vol. 23, núm. 2.
- DA Salas, P. Criollo y AD Ramírez, (2021) El papel de las instituciones de educación superior en la implementación de la economía circular en América Latina, *Sostenibilidad (Suiza)*, vol. 13, núm. 17.
- D. Grazhdani, (2016) Evaluación de las variables que afectan la tasa de generación y reciclaje de residuos sólidos: un análisis empírico en el parque Prespa, *Gestión de residuos*, vol. 48.
- DP Smyth, AL Fredeen y AL Booth, (2010) Reducir los residuos sólidos en la educación superior: el primer paso hacia un campus universitario más ecológico, *Reciclaje de conservación de recursos*, vol. 54.
- D. Zekkos, E. Kavazanjian, D. Bray, J. y N. Matasovic, (2022) Caracterización Física de Residuos Sólidos Municipales con Fines Geotécnicos, *Revista de Ingeniería Geotécnica y Geo ambiental*.
- F. Habibi, E. Asadi, SJ Sadjadi y F. Barzinpour, (2017) Un modelo de optimización robusto multi-objetivo para la selección de sitios y asignación de capacidad de instalaciones municipales de desechos sólidos: un estudio de caso en Teherán. *Producto limpio J*, vol. 166.
- Garavit, J. (2020) La Auditoría y la Gestión de Datos. <https://doi.org/10.35542/osf.io/9fpbd>
- GV Lombardi, M. Gastaldi, A. Rapposelli y G. Romano, (2021) Evaluación de la eficiencia de los servicios de residuos urbanos y el papel de las tarifas en una perspectiva de economía circular: una aplicación empírica para los municipios italianos. *Producto limpio J*, vol. 323.
- H. Asefi y S. Lim, (2017) Un novedoso enfoque de modelado multidimensional para la gestión integrada de residuos sólidos municipales. *Producto limpio J*, vol. 166.
- INECO - AAUD, "Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017 - 2027", 2017.
- J. Zhang, Q. Qin, G. Li y CH Tseng, (2021) Estrategias sostenibles de gestión de residuos municipales mediante el método de evaluación del ciclo de vida: una revisión. *Revista de Gestión Ambiental*, vol. 287.
- K. Parizeau, V. Maclaren y L. Chanthy, (2006) Caracterización de residuos como elemento de planificación de la gestión de residuos: lecciones aprendidas de un estudio en Siem Reap, Camboya. *Reciclaje de conservación de recursos*, vol. 49, núm. 2.
- KK Adusei, KTW Ng, N. Karimi, TS Mahmud y E. Doolittle, (2022) Modelado de comportamientos de eliminación de residuos municipales relacionados con las estaciones meteorológicas utilizando modelos LSTM de redes neuronales recurrentes. *Informe ecológico*, vol. 72.
- Kasam, F. Mulya Iresha y S. Ajie Prasajo, (2018) Evaluación de gestión de residuos sólidos en el campus utilizando el Índice de Residuos Cero.
- KP Roberts et al., (2018) SWIMS: una herramienta dinámica de apoyo a la toma de decisiones y optimización basada en el ciclo de vida para la gestión de residuos sólidos, *Producto limpio J*, vol. 196.
- KA Kolekar, T. Hazra y SN Chakrabarty, (2016) Una revisión sobre la predicción de los modelos de generación de residuos sólidos municipales, *Procedia Environ Ciencia*, vol. 35.
- M. Anne y J. Felder, (1996) Una auditoría de residuos e instrucciones para su reducción en la Universidad de Columbia Británica", 1996.
- M. Pantusheva, R. Mitkov, PO Hristov y D. Petrova-Antonova, (2022) Modelado de dispersión de la contaminación del aire en el entorno urbano mediante CFD: una revisión sistemática", *Ambiente (Basilea)*, vol. 13, núm. 10.

- M. Margallo, K. Ziegler-Rodríguez, I. Vázquez-Rowe, R. Aldaco, Á. Irabien y R. Kahhat, (2019) Mejora de las estrategias de gestión de residuos en América Latina bajo una perspectiva de evaluación ambiental holística: una revisión para el apoyo de políticas, *Ciencia del Medio Ambiente Total*, vol. 689. Elsevier
- Moqbel, S. (2018) Gestión de residuos sólidos en instituciones educativas: el caso de la Universidad de Jordania - vol. 74, núm. 2.
- M. Abdulredha, R. Al Khaddar, D. Jordan, P. Kot, A. Abdulridha y K. Hashim, (2018) Estimación de la generación de residuos sólidos por parte de la industria hotelera durante los principales festivales: un modelo de cuantificación basado en regresión múltiple. *Gestión de residuos*, vol. 77.
- M. Johnson, C. Fitzpatrick, M. Wagner y J. Huisman, (2018) Modelado de los niveles de residuos históricos de aparatos eléctricos y electrónicos en Irlanda. *Reciclaje de conservación de recursos*, vol. 131.
- MA Hannan Et al. (2020) Objetivos de optimización de la recolección de residuos sólidos, limitaciones, enfoques de modelado y sus desafíos para lograr los objetivos de desarrollo sostenible, *Revista de Producción Más Limpia*, vol. 277.
- MF Di Nola, M. Escapa y JP Ansah, (2018) Modelado de soluciones de gestión de residuos sólidos: el caso de Campania, Italia. *Gestión de residuos*, vol. 78.
- N. Sun y S. Chungpaibulpatana, (2017) Desarrollo de un modelo apropiado para pronosticar la generación de residuos sólidos municipales en Bangkok, en *Procedimiento energético*.
- OO Ayeleru, N. Fewster-Young, S. Gbashi, AT Akintola, IM Ramatsa y PA Olubambi, (2023) Un análisis estadístico de las actitudes y comportamientos de reciclaje hacia la gestión de residuos sólidos municipales: un estudio de caso de la Universidad de Johannesburgo, Sudáfrica - *Sistemas de residuos más limpios*, vol. 4.
- PT Ghazvinei, P. (2021) "Gestión de residuos sólidos en campus universitarios".
- R. Életal., (2022) Base de conocimientos global para la gestión de residuos sólidos municipales: desarrollo y aplicación del marco en la predicción de la generación de residuos, *Producto limpio J*, vol. 377.
- R. Šomplák, J. Kúdela, V. Smejkalová, V. Nevrlý, M. Pavlas, y D. Hrabec, (2019) Estrategias de precios y publicidad en la planificación conceptual de la gestión de residuos. *Producto limpio J*, vol. 239.
- SL Galván, NG Faitani, LV Sosa, DN López de Munain y RO Bielsa, (2020) Análisis comparativo del desempeño ambiental de los campus universitarios latinoamericanos: enfoques metodológicos, *Serie Mundial de Sostenibilidad*, págs. 717-732
- X. Bing, JM Bloemhof, TRP Ramos, AP Barbosa-Povoa, CY Wong y JGAJ van der Vorst, (2016) Desafíos de la investigación en la gestión logística de residuos sólidos municipales.
- X. Wang, (2021) Análisis de los mecanismos de influencia sobre los residuos. comportamientos de separación en Shanghái, *Tecnologías y evaluaciones de energía sostenible*, vol. 47.
- X. Tong et al., (2023) Explorando modelos de negocio para la reducción de emisiones de carbono a través de infraestructuras de reciclaje posconsumo en Beijing: un enfoque de modelado basado en agentes, *Reciclaje de conservación de recursos*, vol. 188.
- Y. Saif, M. Rizwan, A. Almansoori y A. Elkamel, (2017) Un enfoque basado en la gestión de la cadena de suministro de residuos sólidos de economía circular en condiciones de incertidumbre, en *Procedimiento energético*.
- Y. Saif, S. Griffiths y A. Almansoori, (2022) Gestión de la cadena de suministro de residuos sólidos municipales bajo una optimización integrada de los objetivos de sostenibilidad. *Ing. en Química Informática*, vol.160.

- Z. Al-Shatnawi, S. Alnusairat y A. Kakani, (2020) Hacia cero residuos sólidos en las universidades jordanas: el caso de la universidad al-ahliyya amman, *Investigación, Ingeniería y Gestión Ambiental*, vol. 76, núm. 4.
- Z. Liet al., (2022) Modelos de optimización nítidos y difusos para gestión sostenible de residuos sólidos municipales, *Producto limpio*, vol.370.