

Gestión de residuos y sostenibilidad: perspectivas futuras y desafíos globales

Waste and Sustainability: Challenges and Opportunities for the Future

Pablo Montero-Prado^{1,2*}  Gustavo Quirós¹ 

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica.

² Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP (CEMCIT AIP), Panamá

*Autor de correspondencia: Pablo Montero-Prado. pablo.montero@utp.ac.pa

RESUMEN. El objetivo de este trabajo es exponer la importancia de gestionar adecuadamente los residuos generados por las diferentes actividades y necesidades de las personas. A la vez, se presenta una revisión de las diferentes estrategias para una gestión eficaz de estos, incluyendo su reducción y prevención, el reciclaje y la reutilización, el tratamiento biológico y el compostaje, el uso de tecnologías innovadoras y la concienciación. Se prevé que la generación de residuos aumente drásticamente en los próximos años, pasando de 2.300 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones de toneladas en 2050. La gestión deficiente de los residuos puede causar contaminación del aire, el agua y el suelo, lo que afecta a la salud pública, genera costos económicos y genera importantes consecuencias sociales. Se clasifican según su origen, biodegradabilidad, peligrosidad y composición. Su gestión eficaz previene problemas ambientales y de salud, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y la sostenibilidad. La reducción y prevención de residuos es una estrategia clave para una gestión eficaz. El reciclaje y la reutilización de materiales son cruciales en la gestión de residuos sólidos. El tratamiento biológico, incluido el compostaje, los transforma en productos útiles. El uso de tecnologías innovadoras y la educación son fundamentales para el éxito de cualquier estrategia de gestión de residuos. El reciclaje ofrece ventajas como la reducción de la huella de carbono y la protección de los ecosistemas y la biodiversidad. Sin embargo, enfrenta desafíos como la adecuada separación de residuos en origen, la contaminación de materiales reciclables y la falta de infraestructura para el reciclaje.

Palabras clave. Biodiversidad, contaminación, ecosistema, reciclaje, sostenibilidad.

ABSTRACT. The objective of this work is to expose the importance of appropriately managing the waste generated by the different activities and needs of people. At the same time, a review of the different strategies for effective management of these is presented, including their reduction and prevention, recycling and reuse, biological treatment and composting, use of innovative technologies and awareness. It is expected that waste generation will increase dramatically in the coming years, from 2.3 billion tons in 2023 to 3.8 billion tons in 2050. Poor waste management can cause air, water and soil pollution, affecting public health, economic costs and significant social. They are classified according to their origin, biodegradability, danger and composition. Their effective management prevents environmental and health problems, contributing to environmental sustainability and sustainability. Waste reduction and prevention is a key strategy in effective management. Recycling and reuse of materials are crucial in solid waste management. Biological treatment, including composting to transform them into useful products. The use of innovative technologies and education are fundamental to the success of any waste management strategy. Recycling offers advantages such as reducing the carbon footprint, protecting ecosystems and biodiversity. However, it faces challenges such as adequate separation of waste at source, contamination of recyclable materials, and lack of recycling infrastructure.

Keywords. Biodiversity, pollution, ecosystem, recycling, sustainability.

1. Introducción

Se prevé que la generación de residuos urbanos aumente drásticamente en los próximos 30 años, pasando

de 2.300 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones de toneladas en 2050. En 2020, el coste directo de la gestión de estos residuos ascendió a 252.000 millones de

Citación: P. Montero y G. Quirós, "Gestión de residuos y sostenibilidad: perspectivas futuras y desafíos globales", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 22, no. 2, pp. (0), 2026.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 31 de enero de 2026. **Recibido con correcciones:** 2 de febrero de 2026. **Aceptado:** 2 de febrero de 2026.

DOI.

Copyright: 2026 P. Montero y G. Quirós. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

dólares. Sin embargo, si se consideran los costes ocultos, como la contaminación, la mala salud y el cambio climático, causados por las malas prácticas de gestión de residuos, el coste total asciende a 361.000 millones de dólares. Si no se toman medidas urgentes para mejorar la gestión de residuos, este gasto anual podría aumentar significativamente para 2050, alcanzando la alarmante cifra de 640.300 millones de dólares [1].

La gestión de residuos es un problema que afecta a la mayoría de los países del mundo [2]. La generación de residuos es un proceso natural, pero su impacto en el medio ambiente es devastador [3]. Los residuos no solo representan un problema para la salud pública y el medio ambiente, sino que también pueden ser una fuente de infecciones y enfermedades [4]. Los residuos sólidos abarcan desde residuos orgánicos hasta tipos más complejos, como los animales y los industriales, lo que genera preocupación ambiental, económica y social que requiere atención inmediata. Su gestión inadecuada puede tener consecuencias devastadoras para el medio ambiente y la salud pública, lo que pone de relieve la importancia de desarrollar métodos innovadores y sostenibles para su tratamiento.

La generación de residuos es un problema creciente en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se producen más de 2 mil millones de toneladas de residuos al año, lo que representa un aumento del 10 % anual [5], [6], [7]. Los residuos no solo son desagradables a la vista, sino que también pueden ser una fuente de infecciones y enfermedades. Además, pueden contener sustancias químicas tóxicas y radiactivas que pueden afectar la salud humana.

Este artículo explora la importancia de la gestión de residuos sólidos, ofreciendo una clasificación de la basura generada en nuestras sociedades y examinando los problemas asociados con una gestión inadecuada. Se discutirán estrategias para una gestión eficaz, incluyendo el reciclaje y sus beneficios, así como los desafíos que presenta. Se mostrarán diversas soluciones alternativas, como el compostaje de residuos orgánicos, destacando el papel crucial de la educación y la concienciación ciudadana. Finalmente, se presentarán casos de éxito que demuestran cómo la gestión innovadora de residuos sólidos puede tener un impacto positivo en nuestras comunidades y el planeta.

1.1 Clasificación y tipos de residuos sólidos

La clasificación de los residuos sólidos es esencial para su correcta gestión y aprovechamiento. Este proceso implica la selección y agrupación de los residuos generados en diversas actividades humanas, facilitando así su tratamiento y reciclaje [8], [9], [10].

1.1.1 Según su origen

- **Residuos Domésticos:** Generados en el hogar, incluyen orgánicos e inorgánicos, reciclables y no reciclables [11].
- **Residuos Municipales:** Procedentes de calles, mercados y jardines, gestionados a nivel local [11].
- **Residuos Industriales:** Incluyen residuos peligrosos y sustancias químicas o radiactivas de procesos industriales [11].
- **Residuos Comerciales:** Procedentes de negocios como tiendas de alimentación o ropa [11].
- **Residuos Hospitalarios:** Materiales médicos a menudo considerados peligrosos debido a su difícil gestión [11].
- **Residuos de la Construcción:** Generados en obras de construcción, difíciles de gestionar debido a su volumen [11].
- **Residuos Mineros:** Sólidos, líquidos o pastosos, derivados de la explotación geológica [11].
- **Residuos Radiactivos:** Contienen elementos químicos y requieren un manejo especializado [11].

1.1.2 Según su biodegradabilidad

- **Residuos Orgánicos:** De origen biológico, incluye restos vegetales y animales, biodegradables y aprovechables en procesos de descomposición natural [11].
- **Residuos Inorgánicos:** No biodegradables, incluye plásticos, metales y otros materiales industriales que tardan mucho tiempo en descomponerse [11].

1.1.3 Según su peligrosidad

- **Residuos inertes:** No sufren cambios significativos al depositarse en vertederos [11].
- **Residuos peligrosos:** Riesgosos para el medio ambiente y la salud, como aceites y disolventes [11].
- **Residuos no peligrosos:** No presentan riesgos directos, como los plásticos y papeles que no han estado en contacto con sustancias peligrosas [11].

1.1.4 Según su composición

La correcta clasificación de los residuos facilita su reciclaje y tratamiento, contribuyendo significativamente a la gestión sostenible del medio ambiente [12], [13].

- **Papel y cartón:** Se depositan en contenedores azules, incluyendo periódicos y cajas [11].
- **Envases:** Las latas y botellas de plástico se colocan en contenedores amarillos [11].
- **Vidrio:** Las botellas y otros objetos de vidrio se colocan en contenedores verdes [11].
- **Otros residuos:** Metales, plásticos específicos y pinturas, generalmente llevados a puntos limpios [11].

1.2 Importancia de la gestión de residuos sólidos

La gestión adecuada de los residuos sólidos es esencial para minimizar su impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública. Los residuos mal gestionados pueden contaminar el aire, el agua y el suelo, afectando negativamente la calidad de vida de las personas [14], [15].

1.2.1 Impactos en la salud y el medio ambiente

La gestión inadecuada de residuos puede provocar la propagación de enfermedades y tener efectos perjudiciales para el medio ambiente. Esto incluye la contaminación estética de ciudades y paisajes naturales, así como daños a especies animales y vegetales [14], [15], [16].

1.2.2 Contaminación del aire

La acumulación de residuos puede provocar descomposición anaeróbica, generando malos olores y gases contaminantes que afectan la calidad del [14], [15], [16].

1.2.3 Contaminación del agua

Los líquidos percolados de los desechos pueden filtrarse a través del suelo hasta llegar a las aguas subterráneas, contaminando fuentes de agua importantes para el consumo humano y la vida acuática [14], [15], [16].

1.2.4 Degradación del suelo

La presencia de residuos altera las propiedades físicas y químicas del suelo, reduciendo su fertilidad y aumentando el riesgo de incendios [14], [15], [16].

1.2.5 Alteración de los Ecosistemas:

La sobrecarga de residuos puede superar la capacidad de regeneración de los ecosistemas, afectando la biodiversidad y las cadenas alimentarias [14], [15], [16].

1.2.6 Prevención de la contaminación

Un sistema de eliminación de residuos bien gestionado ayuda a reducir la contaminación y restaurar tierras contaminadas, preservando los recursos naturales [17].

1.2.7 Reducción de los gases de efecto invernadero

La disposición responsable de residuos sólidos reduce las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático [18].

1.2.8 Protección de la salud pública

Al evitar la acumulación de residuos en lugares inadecuados, se protege la salud de la comunidad, previniendo la proliferación de enfermedades [14], [18]. La correcta gestión de los residuos sólidos es esencial para garantizar un medio ambiente sano y un planeta sostenible para las generaciones futuras.

1.2.9 Costos económicos y sociales

La gestión inadecuada de residuos implica altos costos de limpieza y reparación de daños ambientales. Además, afecta negativamente a sectores económicos como el turismo y la agricultura, disminuyendo el atractivo de las zonas contaminadas y la productividad agrícola [19].

Estas cuestiones ponen de relieve la urgencia de adoptar prácticas de gestión de residuos más eficaces y sostenibles para proteger tanto el medio ambiente como la salud y el bienestar de las poblaciones.

1.3 Estrategias para una gestión eficaz de residuos

1.3.1 Reducción y prevención de residuos

La prevención de residuos es una estrategia clave para una gestión eficaz, que busca eliminar la generación de residuos antes de que se produzcan. Esto implica optimizar los procesos para reducir la cantidad de residuos generados y su toxicidad [20], [21]. Las medidas pueden incluir el diseño de productos más duraderos y el uso de materiales más fáciles de reciclar [22].

1.3.2 Reciclaje y reutilización

El reciclaje y la reutilización de materiales desempeñan un papel crucial en la gestión de residuos sólidos. Estas prácticas no solo reducen la cantidad de residuos que requieren tratamiento o eliminación, sino que también conservan los recursos naturales y reducen la demanda de materias primas [22], [23], [24]. Es fundamental separar adecuadamente los residuos en origen para garantizar que los materiales reciclables no terminen en vertederos, sino que se procesen adecuadamente [25], [26], [27].

1.3.3 Tratamiento biológico y compostaje

El tratamiento biológico, incluido el compostaje de residuos orgánicos, transforma los residuos en productos útiles como el compost, que puede utilizarse en la agricultura, mejorando la calidad del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos [21], [28]. Equipos como BigHanna permiten realizar el compostaje in situ, lo que reduce significativamente la cantidad de residuos orgánicos [25].

1.3.4 Uso de tecnologías innovadoras

La implementación de tecnologías avanzadas, como prensas y compactadoras de residuos, puede reducir significativamente el volumen de residuos sólidos. Estas tecnologías facilitan la manipulación, el transporte y el almacenamiento de residuos, además de contribuir a un entorno de trabajo más limpio y eficiente [26].

1.3.5 Educación y Concientización

Es crucial promover una cultura de gestión de residuos sólidos desde los hogares hasta las industrias. Educar a la población sobre la importancia de reducir el consumo de productos desechables y la correcta separación de los residuos es esencial para el éxito de cualquier estrategia de gestión de residuos [27].

Estas estrategias, cuando se implementan eficazmente, pueden transformar significativamente la gestión de residuos sólidos, conduciendo a una reducción de la contaminación y a un uso más sostenible de los recursos naturales.

1.4 Reciclaje: beneficios y desafíos

1.4.1 Beneficios del reciclaje

El reciclaje ofrece numerosas ventajas ambientales y económicas. Al reciclar, se reduce la huella de carbono, se protegen los ecosistemas y la biodiversidad, y se

conservan los recursos naturales limitados. Además, el reciclaje ayuda a ahorrar materias primas, energía y agua, a la vez que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. En concreto, el reciclaje de envases en 2023 permitió un ahorro significativo de recursos y la prevención de emisiones contaminantes [1], [2], [3].

1.4.2 Ahorro de recursos

En 2023, el reciclaje de más de 1,6 millones de toneladas de envases supuso un ahorro de 15,53 millones de m³ de agua y 9,84 millones de Mwh de energía [29].

- **Reducción de Emisiones:** Gracias a estas prácticas se evitó la emisión de 1,69 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera [30].
- **Preservación de los ecosistemas:** El reciclaje previene la degradación de los hábitats naturales y protege la biodiversidad al reducir la necesidad de extraer nuevos recursos [31], [32].

1.4.3 Desafíos del reciclaje

A pesar de sus beneficios, el reciclaje enfrenta varios desafíos importantes, especialmente en regiones como América Latina y el Caribe, donde solo se recicla el 4,5 % de los residuos. La falta de infraestructura adecuada, la necesidad de educación ambiental y los altos costos operativos son barreras importantes [33], [34].

1.4.4 Infraestructura insuficiente

En muchas áreas, especialmente en ciudades fuera de las grandes capitales, falta la infraestructura necesaria para una gestión eficaz de los residuos sólidos y el reciclaje [35], [36].

1.4.5 Costos de operación

Iniciar y mantener operaciones de reciclaje puede ser costoso, especialmente para organizaciones que están comenzando. Los costos incluyen la adquisición de equipos, instalaciones para la clasificación y transformación de residuos, y los gastos continuos de mantenimiento y transporte [36], [37].

1.4.6 Iniciativas y soluciones

Para superar estos desafíos, se están implementando diversas iniciativas. Por ejemplo, en Perú, la legislación reciente establece la obligatoriedad del proceso de segregación de residuos para la ciudadanía, aunque su eficacia se ve limitada por la falta de una ejecución y

supervisión adecuadas [33], [37]. Asimismo, programas de incentivos como Ecoins Perú buscan promover la participación ciudadana en el reciclaje, aunque requieren mayor visibilidad y coordinación con otras iniciativas [35], [38].

El reciclaje no solo es una responsabilidad ambiental, sino también una oportunidad económica y social para mejorar la calidad de vida y proteger el planeta para las generaciones futuras. A pesar de los desafíos, es crucial seguir promoviendo y mejorando las prácticas de reciclaje a nivel mundial.

1.5 El compostaje como solución sostenible

Durante la pandemia, se ha observado un aumento en la cantidad de residuos generados en los hogares. Muchos de estos residuos, especialmente los orgánicos, como los restos de frutas y verduras, podrían reutilizarse mediante el compostaje, una técnica que no solo recicla, sino que también reduce la contaminación ambiental [39], [40], [41].

1.5.1 Proceso de compostaje

El compostaje es un método de descomposición controlada de materiales orgánicos, como frutas, verduras, podas, etc. Este proceso implica apilar los materiales, añadir agua y remover para asegurar la aireación, facilitando así la acción de los microorganismos que degradan la materia orgánica. Este proceso aeróbico transforma los residuos en compost, un mejorador del suelo de color marrón oscuro y con un olor característico a tierra fértil [40], [41].

1.5.2 Beneficios del compostaje

El compost tiene múltiples beneficios para el suelo y las plantas:

- **Mejora la estructura del suelo:** Aumenta la porosidad y la capacidad de retención de agua, lo cual es crucial durante los períodos de sequía [39], [42].
- **Aporta nutrientes:** El compost es rico en nutrientes esenciales que promueven el crecimiento saludable de las plantas [40], [43].
- **Promueve la actividad microbiana:** Regula la actividad biológica del suelo, lo que a su vez mejora la nutrición mineral de las plantas [40], [41].
- **Reduce la necesidad de fertilizantes químicos:** Al utilizar compost se reduce la dependencia de

productos químicos, contribuyendo a un medio ambiente más saludable y sostenible [22].

1.6 Educación y Conciencia Ciudadana

La educación ambiental desempeña un papel crucial en la sensibilización y el conocimiento de la ciudadanía sobre los problemas ambientales, brindándole las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas y actuar de forma responsable [44]. Este proceso educativo se compone de varios elementos esenciales:

Conciencia y sensibilidad hacia el medio ambiente y los desafíos ambientales [44], [45]. Conocimiento y comprensión del medio ambiente y sus desafíos [45]. Actitudes de preocupación por el medio ambiente y motivación para mejorar o mantener la calidad ambiental [45]. Habilidades para identificar y resolver desafíos ambientales [44]. Participación en actividades que contribuyan a la solución de estos desafíos [44], [45].

Es fundamental que la educación ambiental sea imparcial, enseñando a las personas a evaluar diferentes perspectivas mediante el pensamiento crítico y fomentando sus habilidades de resolución de problemas y toma de decisiones [44], [45]. En respuesta a esta necesidad, la Ley Nacional de Educación Ambiental de 1990 estableció que la EPA (Agencia de Protección Ambiental) lideraría a nivel nacional el fomento de la educación ambiental, creando la Oficina de Educación Ambiental para implementar este programa [44], [45].

En el ámbito pedagógico, es crucial promover la importancia de una buena gestión de los residuos sólidos. Diversas investigaciones han demostrado que las intervenciones pedagógicas pueden lograr cambios conceptuales y actitudinales significativos en el alumnado respecto a la gestión de residuos [44], [45]. Estas estrategias incluyen el uso de enfoques cualitativos y la implementación de recursos curriculares y didácticos diseñados específicamente para mejorar la comprensión y la actitud hacia la gestión de residuos [44].

Finalmente, es fundamental reconocer que la educación ambiental no se limita sólo a brindar información, sino que debe integrar prácticas pedagógicas adaptadas a los contextos sociales y ambientales de cada comunidad, promoviendo así un compromiso social y ambiental duradero [44], [45].

1.7 Casos de éxito en la gestión de residuos

1.7.1 Suecia: de los residuos a la energía

En Suecia, el sistema de conversión de residuos en energía transforma los residuos no reciclables en energía, suministrando electricidad a 250.000 hogares y reduciendo significativamente el volumen de residuos y emisiones. Este eficiente sistema de reciclaje requiere la importación de basura de otros países para mantener sus plantas operativas todo el año [46].

1.7.2 Japón: optimización en la separación de residuos

Japón destaca por su meticuloso sistema de reciclaje. Los ciudadanos son responsables de separar sus propios residuos, lo que facilita un proceso de recolección riguroso y organizado. Un ejemplo notable es la ciudad de Kamikatsu, que separa sus residuos en 34 categorías y aspira a convertirse en una ciudad completamente libre de residuos [47].

1.7.3 Suiza: enfoque en la reducción de residuos

Suiza ha implementado con éxito la economía circular, centrándose en la reducción de residuos mediante el uso de bolsas de basura "oficiales" de mayor costo, incentivando así el reciclaje gratuito. Esta estrategia ha reducido la generación de residuos no reciclables en aproximadamente 90 kilos por persona al año, alcanzando tasas de reciclaje del 93 % para botellas de vidrio y del 91 % para latas de aluminio [46], [47].

1.7.4 Corea del Sur: gestión innovadora de residuos orgánicos

Corea del Sur ha implementado un sistema de pago por peso para los residuos orgánicos, lo que ha reducido significativamente el desperdicio de alimentos. Se utilizan bolsas especiales para residuos orgánicos biodegradables en contenedores que pesan cada deposición. Los residuos recolectados se transforman en biogás, fertilizante para cultivos y alimento para el ganado [46], [47].

1.7.5 Gales: políticas activas y educación sobre el reciclaje

Gales ha logrado aumentar su tasa de reciclaje de residuos domésticos del 5 % al 64 % en dos décadas, gracias a políticas proactivas que incluyen una estructura de reciclaje accesible y extensas campañas de concienciación. Las medidas ambientales futuras

incluyen la inversión en tecnologías para reciclar productos actualmente no reciclables, como colchones o pañales [47].

2. Conclusiones

La gestión de residuos sólidos representa un desafío global, pero también una oportunidad para promover prácticas sostenibles que beneficien tanto a nuestra sociedad como al medio ambiente. A lo largo de este artículo, hemos explorado diversos métodos innovadores para la gestión sostenible de estos residuos, incluyendo la importancia de la clasificación, el reciclaje y el compostaje adecuados, así como el papel crucial de la educación y la concienciación pública. Estas estrategias, combinadas con la implementación de tecnologías avanzadas y una gestión eficaz, pueden conducir a una reducción significativa de la contaminación, el ahorro de recursos naturales y la protección de la biodiversidad y la salud pública.

En definitiva, los casos de éxito internacionales nos demuestran que, con esfuerzos conjuntos y compromisos firmes, es posible lograr un impacto positivo y duradero en la gestión de residuos sólidos. La cooperación entre gobiernos, empresas, comunidades y ciudadanos es esencial para fomentar una cultura de responsabilidad ambiental e implementar soluciones que nos conduzcan hacia un futuro más sostenible. Fomentar la investigación y la inversión en nuevas tecnologías y prácticas de gestión de residuos seguirá siendo clave para superar los desafíos actuales y garantizar el bienestar de las generaciones futuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Panamá por la logística e infraestructura para la preparación de este trabajo. A su vez, agradece a los integrantes del Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica de la UTP, por su apoyo constante y desinteresado. Igualmente, agradecen al Sistema Nacional de Investigación (SNI-SENACYT) por el apoyo financiero brindado para el desarrollo de este proyecto

CONFLICTO DE INTERESES

Por este medio, los autores declaran no tener conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

A continuación, se especifica el aporte de cada autor: Conceptualización, G.Q., PM; Elaboración y corrección del artículo, G.Q., P.M.; Supervisión y Asesoría, PM. Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] United Nations Environment Programme y International Solid Waste Association, «Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste: Turning Rubbish into a Resource», 2024. [En línea]. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>
- [2] N. Ferronato y V. Torretta, «Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, n.º 6, Art. n.º 6, ene. 2019, doi: 10.3390/ijerph16061060.
- [3] 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*, vol. 19, n.º 19, Art. n.º 19, ene. 2022, doi: 10.3390/ijerph191912717.
- [4] M. Ao y N. Ngullie, «Overview of municipal solid waste management in sub-tropical climatic region of North Eastern India», *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 31, n.º 16, pp. 23307-23321, abr. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-32689-0.
- [5] S. Kaza, L. C. Yao, Bhada-Tata Perinaz, y Van Woerden Frank, «What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.», World Bank., Washington, DC, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- [6] World Health Organization, «Solid waste. In: Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment.», World Health Organization, Geneva: World Health Organization, (WHO/HEP/ECH/EHD/21.02), 2021.
- [7] A. M. Yatoo *et al.*, «Global perspective of municipal solid waste and landfill leachate: generation, composition, ecotoxicity, and sustainable management strategies», *Environ Sci Pollut Res*, vol. 31, n.º 16, pp. 23363-23392, abr. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-32669-4.
- [8] M. Tian, B. Pu, Y. Chen, y Z. Zhu, «Consumer's Waste Classification Intention in China: An Extended Theory of Planned Behavior Model», *Sustainability*, vol. 11, n.º 24, Art. n.º 24, ene. 2019, doi: 10.3390/su11246999.
- [9] United Nations, «European Waste Classification for Statistics». Statistics Division, 2010. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://unstats.un.org/unsd/classifications/Family/Detail/1065>
- [10] U.S. Environmental Protection Agency, «Criteria for the Definition of Solid Waste and Solid and Hazardous Waste Exclusions». 2016. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions>
- [11] O. Buenrostro, G. Bocco, y S. Cram, «Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 32, n.º 1, pp. 29-41, may 2001, doi: 10.1016/S0921-3449(00)00094-X.
- [12] R. Bucea-Manea-Țoniș y T. Zecheru, «Untapped Aspects of Waste Management versus Green Deal Objectives», *Sustainability*, vol. 14, n.º 18, Art. n.º 18, ene. 2022, doi: 10.3390/su141811474.
- [13] V. Ustohalova, «Management and Export of Wastes: Human Health Implications», en *Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)*, J. Nriagu, Ed., Oxford: Elsevier, 2011, pp. 219-228. doi: 10.1016/B978-0-444-63951-6.00573-8.
- [14] D. Guo, X. Wang, T. Feng, y S. Han, «Factors Influencing the Waste Separation Behaviors of Urban Residents in Shaanxi Province during the 14th National Games of China», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, n.º 7, Art. n.º 7, ene. 2022, doi: 10.3390/ijerph19074191.
- [15] S. Mor y K. Ravindra, «Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices», *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 174, pp. 510-530, jun. 2023, doi: 10.1016/j.psep.2023.04.014.
- [16] P. Srun y K. Kurisu, «Internal and External Influential Factors on Waste Disposal Behavior in Public Open Spaces in Phnom Penh, Cambodia», *Psychology of Sustainability and Sustainable Development*, vol. 11, n.º 6, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/su11061518>.
- [17] J. A. Nathanson, «Solid-waste management. Definition, Methods, Importance, & Facts», en *Encyclopedia Britannica*, 2024. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/solid-waste-management>
- [18] World Health Organization, «Solid waste management, air pollution and health», 2021. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WHO-HEP-ECH-AQH-2021.8>
- [19] F.-C. Mihai *et al.*, «Plastic Pollution, Waste Management Issues, and Circular Economy Opportunities in Rural Communities», *Sustainability*, vol. 14, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2022, doi: 10.3390/su14010020.
- [20] C. O. Ugwu, C. G. Ozoegwu, P. A. Ozor, N. Agwu, y C. Mbohwa, «Waste reduction and utilization strategies to improve municipal solid waste management on Nigerian campuses», *Fuel Communications*, vol. 9, p. 100025, dic. 2021, doi: 10.1016/j.fuenco.2021.100025.
- [21] U.S. Environmental Protection Agency, «Sustainable Materials Management: Non-Hazardous Materials and Waste Management Hierarchy». 2015. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-non-hazardous-materials-and-waste-management-hierarchy>

- [22] Y. A. Hajam, R. Kumar, y A. Kumar, «Environmental waste management strategies and vermi transformation for sustainable development», *Environmental Challenges*, vol. 13, p. 100747, dic. 2023, doi: 10.1016/j.envc.2023.100747.
- [23] T. Kumari y A. S. Raghubanshi, «Chapter 33 - Waste management practices in the developing nations: challenges and opportunities», en *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World*, P. Singh, P. Verma, R. Singh, A. Ahamad, y A. C. S. Batalhão, Eds., Elsevier, 2023, pp. 773-797. doi: 10.1016/B978-0-323-90463-6.00017-8.
- [24] K. E. Okedu, H. F. Barghash, y H. A. Al Nadabi, «Sustainable Waste Management Strategies for Effective Energy Utilization in Oman: A Review», *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 10, feb. 2022, doi: 10.3389/fbioe.2022.825728.
- [25] U. N. Ngoc y H. Schnitzer, «Sustainable solutions for solid waste management in Southeast Asian countries», *Waste Management*, vol. 29, n.º 6, pp. 1982-1995, jun. 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.08.031.
- [26] H. Pasang, G. A. Moore, y G. Sitorus, «Neighbourhood-based waste management: A solution for solid waste problems in Jakarta, Indonesia», *Waste Management*, vol. 27, n.º 12, pp. 1924-1938, ene. 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.09.010.
- [27] N. Yukalang, B. Clarke, y K. Ross, «Solid Waste Management Solutions for a Rapidly Urbanizing Area in Thailand: Recommendations Based on Stakeholder Input», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, n.º 7, Art. n.º 7, jul. 2018, doi: 10.3390/ijerph15071302.
- [28] United Nations Environment Programme, «Guidelines for National Waste Management Strategies: Moving from Challenges to Opportunities». Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, 2019. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.unep.org/ietc/resources/toolkits-manuals-and-guides/guidelines-national-waste-management-strategies-moving>
- [29] A. Kassab, D. Al Nabhani, P. Mohanty, C. Pannier, y G. Y. Ayoub, «Advancing Plastic Recycling: Challenges and Opportunities in the Integration of 3D Printing and Distributed Recycling for a Circular Economy», *Polymers*, vol. 15, n.º 19, Art. n.º 19, ene. 2023, doi: 10.3390/polym15193881.
- [30] S. Kumar *et al.*, «Challenges and opportunities associated with waste management in India», *Royal Society Open Science*, vol. 4, n.º 3, p. 160764, mar. 2017, doi: 10.1098/rsos.160764.
- [31] S. Mousavi, A. Hosseinzadeh, y A. Golzary, «Challenges, recent development, and opportunities of smart waste collection: A review», *Science of The Total Environment*, vol. 886, p. 163925, ago. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163925.
- [32] A. Tripathi, V. K. Tyagi, V. Vivekanand, P. Bose, y S. Suthar, «Challenges, opportunities and progress in solid waste management during COVID-19 pandemic», *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 2, p. 100060, sep. 2020, doi: 10.1016/j.csee.2020.100060.
- [33] T.-D. Bui, J.-W. Tseng, M.-L. Tseng, y M. K. Lim, «Opportunities and challenges for solid waste reuse and recycling in emerging economies: A hybrid analysis», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 177, p. 105968, feb. 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105968.
- [34] V. Del Carmen-Niño, R. Herrera-Navarrete, A. L. Juárez-López, M. L. Sampedro-Rosas, y M. Reyes-Umaña, «Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town», *Sustainability*, vol. 15, n.º 2, Art. n.º 2, ene. 2023, doi: 10.3390/su15021083.
- [35] U.S. Environmental Protection Agency, «The U.S. Recycling System». 2019. Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/circulareconomy/us-recycling-system>
- [36] R. Minunno, T. O'Grady, G. M. Morrison, y R. L. Gruner, «Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building», *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 160, p. 104855, sep. 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104855.
- [37] A. Quintili y B. Castellani, «The Energy and Carbon Footprint of an Urban Waste Collection Fleet: A Case Study in Central Italy», *Recycling*, vol. 5, n.º 4, Art. n.º 4, dic. 2020, doi: 10.3390/recycling5040025.
- [38] U.S. Environmental Protection Agency, «Recycling Basics and Benefits». 2013. Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/recycle/recycling-basics-and-benefits>
- [39] K. Kawai, C. Liu, y P. J. Dickella G., «CCET guideline series on intermediate municipal solid waste treatment technologies: Composting». United Nations Environment Programme, 2020. Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.unep.org/ietc/resources/publication/ccet-guideline-series-intermediate-municipal-solid-waste-treatment>
- [40] L. Lin, F. Xu, X. Ge, y Y. Li, «Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 89, pp. 151-167, jun. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.025.
- [41] M. Pergola *et al.*, «Composting: The way for a sustainable agriculture», *Applied Soil Ecology*, vol. 123, pp. 744-750, feb. 2018, doi: 10.1016/j.apsoil.2017.10.016.
- [42] M. S. Ayilara, O. S. Olanrewaju, O. O. Babalola, y O. Odeyemi, «Waste Management through Composting: Challenges and Potentials», *Sustainability*, vol. 12, n.º 11, Art. n.º 11, ene. 2020, doi: 10.3390/su12114456.
- [43] F. Farhidi, K. Madani, y R. Crichton, «How the US Economy and Environment can Both Benefit From Composting Management», *Environ Health Insights*, vol. 16, p. 11786302221128454, ene. 2022, doi: 10.1177/11786302221128454.
- [44] V. Lamanauskas, «THE IMPORTANCE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION AT AN EARLY AGE», *Journal of Baltic Science Education*, vol. 22, n.º 4, p.

Continuous, 2023, doi:
<https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.564>.

- [45] J. van de Wetering, P. Leijten, J. Spitzer, y S. Thomaes, «Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis», *Journal of Environmental Psychology*, vol. 81, p. 101782, jun. 2022, doi: 10.1016/j.jenvp.2022.101782.
- [46] G. Bishop, D. Styles, y P. N. L. Lens, «Recycling of European plastic is a pathway for plastic debris in the ocean», *Environment International*, vol. 142, p. 105893, sep. 2020, doi: 10.1016/j.envint.2020.105893.
- [47] The European Environment Agency, «Waste recycling in Europe». 2023. Accedido: 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/waste-recycling-in-europe>