

Políticas públicas, gestión de residuos sólidos municipales y sostenibilidad ambiental. Una revisión

Gerardo Ortiz Castro

gortizc@ucvvirtual.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9975-128X>

Universidad César Vallejo

Robert Julio Contreras Rivera

jcontrerasr@ucvvirtual.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-3188-3662>

Universidad César Vallejo

Lima – Perú

RESUMEN

Este estudio de revisión investiga las diferentes formas de gestión de residuos sólidos urbanos y municipales, desde los vertederos, rellenos sanitarios y la incineración como modelos tradicionales de eliminación de residuos que recogen los municipios por su bajo costo y simplicidad, pero que demandan de una adecuada gestión para minimizar los impactos ambientales. Tradicionalmente y más en los países en vías de desarrollo se mantiene el esquema de gestión de residuos sólidos urbanos (GRS) como procesos de limpieza vía recojo domiciliario y en puntos de acopio, la disposición final y el saneamiento, pero la literatura sugiere un amplio margen de posibilidades de gestión con una visión global que garantice la protección ambiental y un desarrollo sostenible. Se incluye un análisis de experiencias de valorizaciones orientadas a una gestión sostenible de los RSU. Se concluye que el uso de modelos de gestión de residuos usando diversas opciones de valorización según la fuente de desechos conlleva a una mejora de la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: *desecho sólido; incineración; vertedero; lixiviado; contaminación ambiental.*

Correspondencia: gortizc@ucvvirtual.edu.pe

Artículo recibido 22 noviembre 2022 Aceptado para publicación: 22 diciembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Ortiz Castro, G., & Contreras Rivera, J. R. (2023). Políticas públicas, gestión de residuos sólidos municipales y sostenibilidad ambiental. Una revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 12258-12278. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4253

Public policies, municipal solid waste management and environmental sustainability. A review

ABSTRACT

This review study investigates the different forms of urban and municipal solid waste management, from landfills, sanitary landfills and incineration as traditional models of waste disposal that municipalities collect due to their low cost and simplicity, but which demand adequate management to minimize environmental impacts. Traditionally and more in developing countries, the urban solid waste (GRS) management scheme is maintained, such as cleaning processes via home collection and collection points, final disposal and sanitation, but the literature suggests a wide margin of management possibilities with a global vision that guarantees environmental protection and sustainable development. An analysis of valuation experiences oriented towards a sustainable management of MSW is included. It is concluded that the use of waste management models using various recovery options depending on the source of waste leads to an improvement in environmental sustainability.

Keywords: solid waste; incineration; landfill; leachate; environmental contamination.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la economía, el desarrollo industrial, el crecimiento de la población y el crecimiento masivo de las urbes son las causantes del incremento de los desechos urbanos y de la demanda de energía y de minerales entre otros (Al-Ghouti et al., 2021). Los desechos son generados por los desperdicios en las viviendas, en la fábricas, industria y residuos sólidos municipales (RSU) (Khan et al., 2022), que, a su vez, causan la contaminación ambiental. Empero, de los desechos o contaminantes orgánicos, se pueden considerar una fuente de biomasa que dependiendo de la valorización puede obtenerse fuentes de energía, compost o biocombustible (Moya et al., 2017). Otros residuos como los hidrocarburos poliaromáticos (PAH), los metaloides, los bifenilos policlorados (PCB) y los suelos minerales comprenden un grupo de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Khan et al., 2021). Otro impacto de los desechos es la creciente contaminación del agua, por un lado, cada vez el agua “limpia” es escasa en todo el orbe (Alabsi et al., 2021). Por ejemplo, el agua para las actividades agrícolas y para consumo directo es cada vez más escasa, sobre todo en países en desarrollo como del sudeste y en casi toda América Latina (Bello et al., 2021). Diversos estudios señalan deficientes sistemas de gestión de residuos, que son a la vez un reto para disminuir los impactos ambientales negativos (Guerrero et al., 2013).

La gestión de residuos sólidos en los municipios requiere de procesos de recolección, clasificación, almacenamiento, transporte, procesamiento y disposición final que conforme a la literatura disponible se correlacionan con el medio ambiente, la salud y la economía (Hazra y Goel, 2009). Asimismo, las fuentes de residuos, las políticas públicas y los factores culturales y socio-políticos influyen en la garantía de un entorno sostenible, donde aspecto técnicos y no técnicos urge su intervención. Un residuo sólido generado en cada municipio, se considera municipal, y será sostenible la gestión y tratamiento de los RSU si estos no se destinan a acumulación en una disposición final, sino que pueden recuperarse, reutilizarse y reciclarse en su totalidad.

El estudio de revisión tiene como objetivo describir la literatura actual sobre las diferentes formas de gestión de residuos sólidos urbanos y municipales.

METODOLOGÍA

El estudio es una revisión documental de artículos relacionados con las variables: políticas públicas - residuos sólidos – sostenibilidad ambiental. El procedimiento de recolección de

información fue el siguiente: Se realizó la búsqueda de 870 artículos científicos de Science Direct, Scopus, Google Scholar y SciELO.

Para este procedimiento, se utilizaron términos de búsqueda o palabras clave como “public policies” - “solid waste” – “environmental sustainability”. Del total de artículos científicos aplicando el modelo PRISMA 2020 se encontró un total de 42 referencias que cumplieron con los criterios definidos en la presente revisión. En cuanto al procesamiento y análisis de la información recopilada, los principales hallazgos o conclusiones de cada trabajo de investigación citado fueron ordenadas debidamente en una matriz de análisis documental; resaltando palabras clave y similitudes

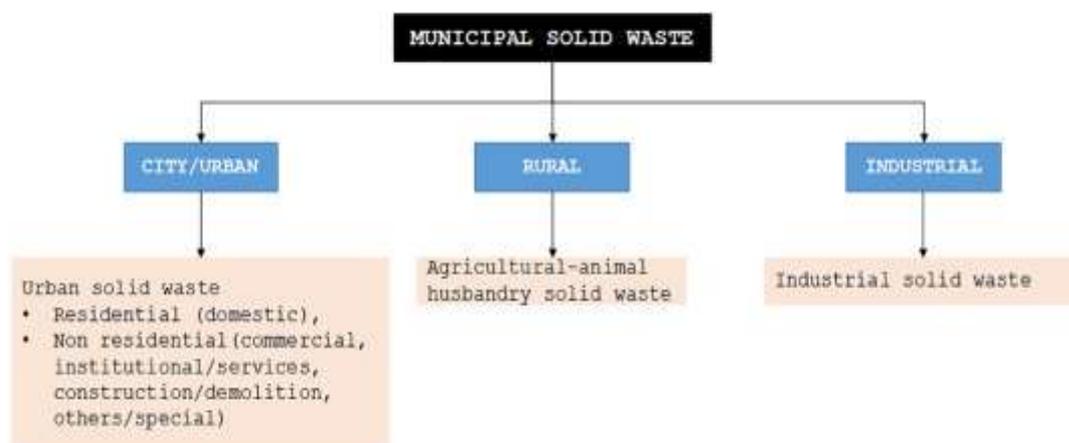
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipos y clases de residuos sólidos

Según la normativa de cada país, se configuran diversos tipos y clases de residuos sólidos municipales; en el presente estudio se considera una clasificación conforme a Buenrostro et al. (2001) y Bello et al. (2022) lo clasifican en tres fuentes: urbanas, industriales y rurales. De cada una se subdividen en 7 clases como se muestra en la Fig. 1. Los RS urbanos abarcan esencialmente desechos de las viviendas (Buenrostro et al., 2001) y se subdividen en desechos residenciales (de los domicilios) y los no residenciales (por actividades de comercio, servicios, construcción civil y otros), los RS rurales se relacionan principalmente con residuos de actividades agropecuarias y los RU industriales comprenden desechos sólidos, de escombros y desechos de la producción y manufactura (Osinowo et al., 2018).

Figura 1

Clasificación de residuos sólidos urbanos según fuente.



Fuente: Buenrostro et al. (2001) y Bello et al. (2022).

Políticas Públicas sobre residuos

Las políticas públicas comprenden normas legales, reglamentarias, directivas de naturaleza ministerial, sectorial o municipal, que regula la gestión de los RS y tienen diferente enfoque de un país a otro, y de un municipio a otro de un país. Según los países las políticas comprenden desde enfoques sencillos, generales e informales, hasta otros muy formales, especializados y precisos en la gestión de residuos. Dado que la sostenibilidad en la gestión de residuos se ha hecho eco de forma persistente en todo el mundo, se abordan en el estudio otras definiciones como la reducción de la fuente, la reducción de residuos y modelos de valorizaciones relativos a producción y consumo (Rossi et al., 2020). Las políticas públicas en la gestión de residuos han evolucionado y se han redimensionado dando una mayor importancia en la protección ambiental y el desarrollo sostenible.

Entre las normas legales más generales y comunes está la Agenda 21 (ONU, 1992), para impulsar un nuevo enfoque y gestión de residuos en todo el orbe, disminuir la contaminación y mejorar la sostenibilidad ambiental. A la fecha hay una infinidad de normas en el mundo, pero la implementación, los financiamientos y disposición de recursos son limitados y no permiten cumplir, medir o evaluar el impacto de las políticas públicas, considerando que se dictan para dar protección o disminuir los riesgos en el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención/barrera/salvaguardia de los impactos negativos (Bello et al, 2022). Países desarrollados de la Unión Europea (UE), Japón, Malasia y otros países emergentes han dictado políticas públicas para regular los procesos de generación, acumulación, producción, tratamiento y gestión de desechos que sean eco eficientes y sostenibles (Carvajal et al., 2022).

Modelos de gestión de residuos sólidos

La gestión de residuos sólidos en el ámbito municipal, excluyendo los peligrosos, se orienta administrar desde la recolección, recojo, transporte, procesamiento y disposición final de los residuos sólidos, usualmente un vertedero o relleno sanitario conforme a las normas legales y municipales de esa circunscripción territorial sean sanitarias, sociales, económicas y ambientales, siendo sus impactos como la contaminación que afectan a la salud humana y el medio ambiente (Bello et al., 2022). Todos los países encaran problemas relacionados con la gestión de residuos sólidos municipales por el crecimiento poblacional, las actividades económico, la mejora de la calidad de vida y la expansión

urbana, así, en países emergentes como los países árabes se observa en la última década una elevada tasa promedio de generación de RSU de 1,5 kg/día per cápita (Hahladakis y Aljabri, 2019; Bello et al., 2022).

En Qatar, se gestionan los residuos sólidos mediante: reciclaje, incineración y los restos van a vertederos o rellenos sanitarios, el reciclaje se hace con residuos residenciales y comerciales, que es la principal fuente de residuos generados y que tiende a aumentar, al ritmo del alto crecimiento de su población, de 4,2% conforme crece su economía, las normas y planes de gestión intentan garantizar la sostenibilidad ambiental, como respuesta a ello, en diversos países árabes se están incrementando las políticas nacionales para fomentar el reciclaje con metas compatibles con los ODS (Meza et al., 2019; Bello et al., 2022).

Markik et al. (2019) brindaron apoyo científico a la gestión de residuos municipales mediante el uso de análisis de flujo de materiales para la planificación de la gestión de residuos. Desarrollaron dos escenarios y dos subescenarios, a saber, el Escenario S0, que representa el método actual de gestión de RSU en la región de Banja Luka, el Escenario S1, que implica la separación de residuos en la fuente, y en los hogares (25% de los residuos orgánicos y el 25% de los residuos de envases). Dentro del escenario S1, también se establecieron dos subescenarios. Midgley et al. (2021) estudiaron el enfoque de ingeniería de sistemas para los problemas a escala nacional de la gestión de residuos sólidos municipales en Arabia Saudita.

Remediación, tratamiento y eliminación de residuos

La contaminación por los desechos, afecta suelos, superficie del agua y aguas subterráneas, expone a riesgos a la salud humana y exige acciones para su tratamiento con uso de técnicas y/o tecnologías para la remediación de ambientes y áreas territoriales y disminuir la contaminación ambiental, entre ellas, usar diversos materiales y métodos para la remediación de aguas que pueden servir para abordar otros contaminantes del medio ambiente, que van desde tratamiento electroquímico, floculación/coagulación y tratamientos aeróbicos y anaeróbicos, pero de alto costo (Al-Ghouti y Dib, 2020). Previa a la elección de una tecnología de remediación de suelo/ambiente contaminado, es conveniente evaluar la relación costo beneficio, el financiamiento y las políticas públicas existentes, además de un estudio del sitio y comprender todos los parámetros asociados, a saber, como los constituyentes químicos, físicos y biológicos de los contaminantes para

un mejor resultado. Además, del financiamiento y las políticas públicas vigentes requieren un análisis minucioso antes de decidirse por una opción de cualquier método de remediación. Los científicos ambientales han recurrido al uso de estrategias basadas en el riesgo para reducir la contaminación ambiental y remediar en caso de que el medio ambiente esté contaminado. Es importante reparar en el índice de contaminación ambiental que tiende a subir, lo que exige una intervención rápida (Bello et al., 2022).

Tecnología de vertederos

Los vertederos son medios de eliminación de desechos simples y baratos, pero con consecuencias negativas en todo el ecosistema, desde especies en el nivel trófico más alto, si no se gestionan adecuadamente, por vertidos contaminantes en forma líquida, en polvo y gaseosa (Ferronato y Torretta, 2019). Diversos países en vías de desarrollo prescriben el uso de vertederos, sin establecer aspectos técnicos en la normativa y procedimientos reglamentarios, aumentando el riesgo o efecto potencial de generación de lixiviados y emisión de gases a la atmósfera (Aderoju et al., 2020), lo que es preocupación mundial, demandando organismos de defensa ambiental una urgente y más eficiente gestión de RS, puesto que la clásica disposición final en vertederos y rellenos sanitarios, afectan al ambiente por sus emisiones, contaminación del suelo y aguas que impactan directamente a la salud humana (Mukherjee et al., 2015; Bello, 2022). Respecto a los vertederos, estos se dividen en: vertederos a cielo abierto y vertederos sanitarios (Al-Ghouti et al., 2020). El tipo abierto es muy predominante en la operación y está construido de manera que permite el libre movimiento y el intercambio de moléculas gaseosas y líquidas entre las instalaciones del vertedero y el medio ambiente (Osinowo et al., 2018). La opción de relleno sanitario permite la segregación de todos los residuos del territorio, pero presenta desventajas como riesgos de falla en la eficacia del sistema lineal y garantizar un buen funcionamiento de este sistema (Feng et al., 2020).

Los vertederos en su mayoría colectan basura, donde el suelo y el agua circundantes estaban altamente contaminados (Iravanian y Ravari, 2020). Ello muestra la naturaleza peligrosa de los contaminantes y el riesgo para la salud que conlleva para los organismos vivos, incluidos los humanos (Abiriga et al., 2020). Los contaminantes y sus efectos negativos dependen de la fuente de los residuos sólidos en los vertederos, que se clasifican ampliamente en tres grupos según sus fuentes, e impactan de diversa manera

en el ambiente (Mohammadi et al., 2019). Al abordar en este estudio los residuos sólidos urbanos, que normalmente consisten en una gran cantidad de materia orgánica, transformada por microbios, y termina en las aguas subterráneas y la atmósfera a través de lixiviados y emisiones. Es de esperar que un relleno sanitario ya consolidado puede permitir obtener valor económico en función de las valorizaciones que pueda dársele al residuo, por lo que gases de vertedero y de lixiviado pueden ser opciones económicas para dar uso doméstico e industrial (Bello et al., 2022). Reciclar y convertir el gas de vertedero en biogás se caracteriza por su combustibilidad y genera antorchas con el doble beneficio de producir calor y energía. No obstante, con un manejo adecuado de la tecnología de rellenos sanitarios, existe el beneficio probable de la transformación de estos rellenos sanitarios de su forma inicial como “almacenes de desechos” a “centrales energéticas” que posteriormente generarán energía sostenible para el consumo doméstico e industrial (Ramos et al., 2018; Nanda y Berruti, 2020).

Emisión de gases

El dióxido de carbono (CO₂) y el metano contribuyen en el 60% de las emisiones de gases proveniente de vertederos contaminados; el “monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno son comunes en cantidades variables”, pero una amenaza para el medio ambiente; el metano no es tóxico para las plantas, pero las emisiones de gases de los vertederos tienen efectos adversos en las plantas que se cultivan para vegetar en sitios contaminados, por ejemplo, después de la degradación de los desechos de los vertederos, el oxígeno reemplazado por metano y dióxido de carbono produce “asfixia” de plantas” (Vaverkova, 2019). La literatura sugiere que la concentración de dióxido de carbono en el suelo es inferior al 2%, para que las plantas se desarrollen bien puede utilizar concentraciones inferiores al 5%; pero a una concentración superior al 20%, se dice que el dióxido de carbono es fitotóxico; a pesar de la suficiencia de oxígeno en el suelo, el dióxido de carbono generalmente tiene una alta concentración en los vertederos y podría ser tóxico para las plantas circundantes, especialmente para los tejidos más vulnerables, las raíces (Bello et al., 2022).

Lixiviados

Los lixiviados en un vertedero o relleno sanitario son desechos líquidos que contienen sustancias que se generan progresivamente, son no deseables y se decantan en la masa de toneladas de desechos dentro del vertedero (Ikehata y Li, 2018), se forman por la

degradación o descomposición orgánica de elementos de los desechos en los vertederos y son transportados por una masa líquida por el suelo; los lixiviados son líquidos con alto poder de contaminación por su alta concentración de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, materia orgánica disuelta y suspendida, metales pesados entre otros; dichos lixiviados tienden a dividir el suelo y la fase de agua subterránea lo que conlleva a altos riesgos contaminación de acuíferos subterráneos y una afectación a estos cuerpos de agua (Bello et al., 2022; Segura, 2020).

En los estudios revisados se han reportado diversas sustancias químicas peligrosas, en una cantidad superior a doscientas especies en una masa líquida de lixiviados de vertederos, que incluyen “fenoles, pesticidas, compuestos halogenados, hidrocarburos poliaromáticos, amonio y metales pesados” (Mukherjee et al., 2015), y amenazan la biota acuática y la cadena alimentaria, afectando negativamente a la salud pública y provocan diversos y complicados problemas sanitarios, como la carcinogenicidad y la genotoxicidad (Chu et al., 2019). El lixiviado de relleno sanitario configura parámetros básicos como pH, sólidos en suspensión (SS), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), DBO5 entre otros y metales pesados (HM). La edad del vertedero también influye la concentración de materia orgánica, la concentración de lixiviados y la degradabilidad, que puede disminuir con la edad (Segura et al., 2020). Los lixiviados más jóvenes se componen de compuestos de bajo peso molecular, mientras que los más antiguos contienen compuestos de mayor peso molecular, mientras que la espectrometría de masas de ultra alta resolución se utiliza para la caracterización molecular (Martin et al., 2021).

Existen diferentes tecnologías para el tratamiento de lixiviados de vertederos que cumplan la normativa vigente. La literatura refiere diversos tratamientos para disminuir el impacto negativo de lixiviados de vertederos y diversos métodos como procesos biológicos, procesos físico-químicos, filtración por membrana y tratamientos oxidativos avanzados, entre otros (Talalaj et al., 2019). El método apropiado depende de la composición orgánica y cuando ésta es superior a $1,0 \times 10^4$ mg/L, se sugiere el tratamiento biológico. Cuando un lixiviado del vertedero tiene una concentración alta de nitrógeno amoniacal y tiene un bajo potencial biodegradable, el enfoque apropiado a seguir es un proceso físico-químico (Bello et al., 2022). Se debe considerar la edad del lixiviado, pues condiciona la determinación de la forma o método de tratamiento a usar. La edad de un

vertedero se considera joven (< 5 años), medianas (entre 5 a 10 años) y viejas (mayores de 10 años) (Iravanian y Ravari; 2020).

Transporte y destino de los contaminantes en los lixiviados

Los contaminantes orgánicos en forma de hidrocarburos usualmente están adheridos a biodegradación por la actividad de los microorganismos del suelo en la capa vadosa, lo que resulta en la producción de ácidos orgánicos y carbónicos conocidos por mejorar los minerales disueltos en el suelo (Lipinska et al., 2021). De ahí que se forman penachos de lixiviado y sólidos totales disueltos altos; varios estudios señalan que los penachos de lixiviados se forman a partir de los vertederos, que migran a acuíferos subterráneos para formar un penacho aún mayor (Sultana et al., 2017); Varank et al., 2017), estudios plantean rutas distintas de transporte de lixiviados; uno es la advección y dispersión de contaminantes a través de la membrana del suelo cuando está en condiciones defectuosas, el segundo, es el transporte de contaminantes orgánicos por difusión a través de las membranas del suelo; varios factores influyen en el transporte de los contaminantes orgánicos y su migración a aguas subterráneas, como la estabilidad de los lixiviados, la permeabilidad del suelo, la zona no saturada, la profundidad del agua, la infiltración y la humedad (Iravanian y Ravari, 2020).

Los penachos de lixiviados generalmente están compuestos de altas concentraciones de carbono orgánico volátil, como ácidos fúlvicos (FA), amonio y varios compuestos químicos xenobióticos, incluidos benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), fenoles y compuestos clorados que se distribuyen ampliamente. (Siddiqi et al., 2021). La generación de penachos de lixiviados, tanto en términos de calidad como de cantidad, varía según la temporada junto con los factores estacionales, que incluyen, entre otros, la temperatura, la humedad, la composición de los desechos sólidos y la humedad, las precipitaciones y las densidades de población (Mukherjee et al., 2015). La migración de contaminantes depende en gran medida de la composición del lixiviado o del propio contaminante de la partición del agua (Segura et al, 2020).

Quema o incineración

La quema de RS no es frecuente como la tecnología de relleno sanitario porque demanda mayor consumo de energía (Nanda y Berruti, 2020). La quema es más popular y aceptable porque busca disminuir el volumen y la captura de energía para aumentar la generación de energía (Lu et al., 2017; Nanda y Berruti, 2020). Esta tecnología de quema se ha

incrementado en los últimos años, dado que hay un aumento correspondiente en la generación de RSU que requiere una gestión adecuada en los rellenos sanitarios (Lu et al., 2017). Consecuencia de la quema se dan secuelas, afectaciones a población circundantes, quejas del público y protestas contra el uso de tecnología de incineración. Diversos países experimentaron protestas y críticas, así EE. UU. (Ni et al., 2009), Corea del Sur e Irlanda (Wagner-Döbler, 2013; Wong, 2016). Hasta 2020, se registraban más de 2 000 plantas de incineración, en toda la tierra, con la capacidad de generar una cantidad sustancial de energía que puede alcanzar un volumen total de más de 1 400 000 Mg/día (Mg significa Megagramo que equivale a una tonelada métrica). Es típico que una instalación/planta de incineración involucre más de dos incineradores en promedio dependiendo de la disponibilidad de los recursos (Carvajal et al., 2022).

Casi en todas las regiones se conforman con una operación óptima de los incineradores asegurando que la capacidad del incinerador en uso supere los 200 Mg/día mientras que la capacidad de operación de la planta debe cerrar y superar los 400 Mg/día, lo que conduce a una mejor eficiencia térmica y pone contaminación potencial bajo control extremo.

Flujo de energía a través de vertederos e incineración RSU

La cantidad de entrada y salida de energía relativa al sistema elegido se obtiene de la evaluación del movimiento de energía que se considera como la prioridad número uno para lograr el máximo resultado. Cuantitativamente, se pueden obtener al encontrar el producto de la cantidad de entrada de energía expresada como un coeficiente estandarizado de entrada y salida de energía en las actividades de incineración y vertedero como un reflejo del ciclo energético del proceso.

Los recursos se clasifican en procesos de incineración y vertido como salida e entrada, respectivamente. Se considera entrada a los recursos consumidos o utilizados por estos procesos, que incluyen, entre otros, petrodiesel, esfuerzo humano, capital humano, transporte y electricidad, mientras que la salida incluye electricidad, biogás y biolodos que podrían usarse como entradas en otro proceso.

Sin embargo, considerando los pocos desafíos asociados con los procesos o sistemas de incineración y vertedero de RSU, se ha establecido que la mejor forma de analizar su energía asociada tanto a la entrada como a la salida es aplicando el indicador de energía. Cuatro indicadores de estos se utilizan comúnmente conocidos como índice de energía o

eficiencia en el uso de la energía, productividad de la energía. Estima la cantidad de energía producida o entregada, la siguiente es una energía específica y, por último, la energía neta: la diferencia entre la energía de salida/salida y la energía de entrada/entrada total, todo expresado en la unidad estándar; gigajulio (GJ) (Ashkan et al., 2016).

Valorización de residuos sólidos orgánicos

Los desechos orgánicos como fracción de los RSU, que incluyen desechos de alimentos, desechos agrícolas, desechos de jardín y desechos de procesos, constituyen la mayor parte (46 %) del total de desechos sólidos generados (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). Por lo tanto, la gestión eficaz de los residuos sólidos orgánicos para lograr la sostenibilidad de la gestión es muy esencial para lograr un estándar aceptable de eliminación de residuos sólidos de forma respetuosa con el medio ambiente (Lohri et al., 2017).

El compostaje es otro método confiable de eliminación de desechos, particularmente para los desechos domésticos que se consideran orgánicos. Por lo tanto, el compostaje se presenta como la oportunidad más disponible para recuperar material del componente orgánico de los residuos sólidos urbanos, ya que puede reutilizarse en forma de biofertilizante para mejorar la fertilidad del suelo (Cesaro et al., 2015). Además, ha sido ampliamente aceptado por el bajo costo de operación, así como por las altas ventajas sociales y ambientales (Lim et al., 2016; Onwosi et al., 2017). No obstante, el compostaje es el proceso de someter la materia orgánica a condiciones aeróbicas reguladas de degradación biológica para producir un producto final biológicamente estable (Lim et al., 2016). Dicho material debe estar desprovisto de consumo de oxígeno y no ser capaz de generar metabolitos que sean de naturaleza fitotóxica (Zhang et al., 2016). El proceso de compostaje se ve facilitado por las actividades rigurosas dentro de la comunidad microbiana donde la materia orgánica degradable se convierte en una forma humificada relativamente estable con agua, óxido de carbono y gas amoníaco (Li et al., 2014; Cesaro et al., 2015); Zhang et al., 2016).

Sin embargo, el compostaje exhibe otros méritos sobre otros métodos de manejo de desechos, ya que promueve la reducción del volumen de desechos, la destrucción de semillas de plantas (malezas) no deseadas y la ruina de bacterias patógenas (podría ser desventajosa de varias maneras que incluyen la liberación de nitrógeno Xiao et al., 2017). Pero a pesar de estos méritos, la composición a través del gas amoníaco (NH₃) por

volatilización (Sánchez-García et al., 2015), emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como el metano (CH_4), y óxido de dinitrógeno (N_2O) (Lim et al., 2016). Además de la amenaza ambiental de la posible liberación de contaminantes orgánicos e inorgánicos que en su mayoría es inevitable de los sustratos de compost (Sánchez-García et al., 2015; Lim et al., 2016; Martínez-Sánchez et al., 2017; Onwosi et al., 2017). Por lo tanto, se consideran varias medidas para mitigar estas limitaciones en el compostaje, a saber. la adopción de diferentes metodologías de aireación, aplicación de agentes de carga y condición de la formulación del sustrato/materia prima para garantizar condiciones óptimas para un proceso de compostaje sostenible (Martín-Marroquín e Hidalgo, 2014; Onwosi et al., 2017; Xiao et al., 2017). Sin embargo, el compost debe alcanzar un estándar definido para ser considerado seguro y calificado y para ser utilizado en el suelo como biofertilizante. En la mayoría de los países del mundo, especialmente en Europa, existen reglas concisas, explícitas y detalladas promulgadas por legislación propia de cada país, alineada con la de la Unión europea (Carvajal et al., 2022).

Dinámica de los contaminantes en RS

El transporte de contaminantes a través de la atmósfera, el agua y el suelo es motivo de gran preocupación debido a la deposición y bioacumulación de contaminantes compuestos principalmente orgánicos en el ecosistema acuático después de ser lixiviados a través de procesos/operaciones de vertederos. Por lo tanto, todos los factores ambientales relevantes deben cuantificarse para describir un proceso particular y comprender y evaluar el comportamiento dinámico y los principios de transporte de un contaminante determinado en el medio ambiente. Se ha demostrado que varias particiones a saber. La partición de aire a líquido, de sólido a líquido afecta el destino y el movimiento de las moléculas y los compuestos del gas entre una fase y otra (Amos et al., 2012). Está bien establecido que, si bien los contaminantes orgánicos se filtran fácilmente del vertedero, el proceso de deposición fluctúa y se ve muy influenciado según la fase. En consecuencia, es fundamental conocer el comportamiento y la propensión del contaminante orgánico a retenerlo en la fase sólida; convencionalmente, muchos compuestos orgánicos se caracterizan por ser hidrofóbicos, lo que los hace insolubles en agua; esto es muy fácil de eliminarlos de la fase acuosa a través de la eliminación de partículas. Además de la fase acuosa y de partículas habitual, la adsorción del compuesto orgánico podría extenderse a los coloides y, a menudo, se considera como "la tercera

fase". Además, los estudios han indicado que es probable que los compuestos hidrofóbicos se adhieran a los coloides hidrofóbicos en diferentes fases, a saber. ecosistema marino, agua subterránea y suelo (Bello et al., 2022; Carvajal et al., 2022).

Sostenibilidad Ambiental

Desde el nuevo siglo, muchos países han ido implementando políticas para mejorar la sostenibilidad ambiental (Verrier et al., 2016); pero la creciente industrialización mundial crea un desafío ambiental que exige abordarse ya (Mahbub et al., 2016). Las secuelas de cualquier agotamiento ambiental en cualquier parte de la tierra pueden dañar el ecosistema completamente predominante de manera que el efecto negativo puede afectar regiones enteras (Severo et al., 2015). La reducción del efecto ambiental por las organizaciones puede lograrse por diferentes estrategias y la adopción de prácticas ambientales sostenibles con estrategias de producción más limpia. El PNUD fue responsable del desarrollo de programas preventivos para disminuir daños ambientales, al inicio, muy aceptado y puesto en práctica en muchos países en desarrollo (Severo et al., 2015). Dichos programas se asocian con la adopción continua de principios económicos, ambientales y metodología tecnológica en la producción y los procesos para garantizar un incremento en la eficiencia de la utilización de materias primas, recursos hídricos, bio recursos más limpios. y energía evitando la generación, asegurando la minimización y el reciclaje de los desechos generados en las líneas de producción en diferentes sectores (Mantovani et al., 2017). Así, la aplicación de programas de tecnologías limpias propone el uso de mecanismos preventivos para minimizar daños a los ecosistemas. Varios estudios han demostrado que los programas del PNUP en materia de vigilancia ambiental puede contribuir a solucionar diferentes problemas peculiares a los desafíos de sostenibilidad ambiental, por lo tanto, dichos programa de control ambiental pueden ayudar a mejorar la productividad, la calidad y permite el uso eficiente de materiales y recursos esenciales, una indicación para mejorar su sostenibilidad. eficiencia (Verrier et al., 2016; Ramos et al., 2018).

Finalmente, consideramos que la producción de residuos en todo el mundo ha crecido tremendamente y se espera que siga creciendo. Los RSU tienen la posibilidad de ser gestionados para darles valor agregado y atenuar o disminuir la contaminación, los RSU mal administrados requieren de opciones e investigación para usarlos en valorizaciones que atenúen el impacto ambiental y en la salud humana. Además, se requieren más

inversiones tecnológicas para desarrollar sistemas avanzados para la recolección de lixiviados así como la emisión de gases tóxicos. Además, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del sistema de gestión de RSU, las distintas partes de la gestión deben tener una relación de trabajo sólida. Una adecuada segregación previa a la recolección de desechos, preparación de la población en estos procesos, incrementarán la cuantía y diversidad de desechos vía compensación con tarifas promocionales para eliminar los RS constituyen alternativas que son factibles de utilizar en la gestión y eliminación de RSU (Segura, 2020; Bello et al., 2022; Carvajal et al., 2022).

CONCLUSIONES

En este estudio se ha evidenciado que las políticas públicas son diversas y variadas, desde enfoques generales y disposición final en vertederos o rellenos sanitarios, hasta uso de tecnologías para la obtención de valorizaciones que permitan promover la economía de sectores dedicados a la explotación de RSU y a la disminución de los impactos como la contaminación, por lo que es importante abordar diversas tecnologías existentes junto con métodos probables, debe evaluarse críticamente para garantizar que se mantengan y sostengan los estándares de gestión de los RSU. Un relleno sanitario es una alternativa fácil, sencilla y barata de eliminación de residuos, pero a largo plazo los lixiviados y la infraestructura precaria obsoleta o la falta de mantenimiento de estos vertederos, puede tener efectos negativos en cuerpos ambientales como suelo, agua, aire, que pueden ser controlados si se adoptan correctivos necesarios y oportunos. Requiriéndose de un modelamiento y comprensión de la gestión de RSU para conocer su manejo y posibles fallas que deben ser atendidas en el acto.

LISTA DE REFERENCIAS

- Abiriga, D., Vestgarden, L., Klempe, H. (2020). Contaminación de aguas subterráneas de un vertedero municipal: efecto de la edad, el cierre del vertedero y la temporada en la química del agua subterránea. *Ciencia Entorno Total*, 737 (2020).
- Aderoju, O., Dias, G., Gonçalves, A. (2020). Un análisis basado en GIS para vertederos sanitarios en AbujaNigeria. *Reinar. desarrollo Sostener.*, 22 (2020).
- Alabsi, R., Abu-Dieyeh, M., Al-Ghouti, M. (2020). Estrategias de gestión de salmueras, tecnologías y recuperación mediante procesos de adsorción. *Reinar. Tecnología innovador*, 101541 (2021).

- Al-Ghouti, M., Dib, S. (2020). Utilización de nanohuesos de aceituna en la remediación ambiental del azul de metileno del agua. *J. Medio Ambiente. Ciencias de la Salud Ing.*, 18 (2020).
- Al-Ghouti, M., Khan, M., Nasser, M., Al Saad, K., Heng, E. (2020). Avances y aplicaciones recientes de desechos sólidos municipales y cenizas volantes: información sobre la gestión sostenible y la conservación de los recursos. *Reinar. Tecnología innovador*, 21 (2020).
- Al-Ghouti, M., Khan, M., Nasser, M., Al Saad, K., Heng, E. (2021). Un método novedoso para la extracción de metales a partir de residuos sólidos municipales utilizando una extracción ácida asistida por microondas. *J. Limpio. Pinchar*, 287(2021).
- Amos, M., Jacob, J., Holmes, D., Fisher, A., Wang, Q., Yantosca, M., Corbitt, S., Galarneau, S., Rutter, P., Gustin, S. (2012). Partición de partículas de gas del Hg (II) atmosférico y su efecto en la deposición global de mercurio. *Atmósfera química física*, 12 (1).
- Ashkan, N., Homa, H., Peyman, Q., Hamed, K., Farshid, R. (2016). Aplicación de técnicas de optimización para mejorar la eficiencia energética y las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) de la producción de trigo. *Energía*, 103(2016).
- Bello, A. S., Zouari, S., Da'ana, N., Hahladakis, D., Al-Ghouti, M. (2021). Una descripción general de la gestión de salmuera: tecnologías de desalinización emergentes, evaluación del ciclo de vida y metodologías de recuperación de metales. *J. Medio Ambiente. Administrar*, 288 (2021).
- Bello A. S., Al-Ghouti, M. A., Abu-Dieyeh, M. H. (2022). Sustainable and long-term management of municipal solid waste: A review, *Bioresource Technology Reports*, Volume 18, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101067>.
- Buenrostro, O., Bocco, G., Cram, S. (2001). Clasificación de las fuentes de desechos sólidos municipales en los países en desarrollo. *Recurso Conservar reciclar*, 32 (1).
- Carvajal, H., Teijeiro, M., García M. T. (2022). Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa. *Universidad y Sociedad*: 14 (1).
- Cesaro, A., Belgiorno, V., Guida, M. (2015). Compost a partir de residuos sólidos orgánicos: evaluación de la calidad y normativa europea para su uso sostenible. *Recurso Conservar reciclar*, 94 (2015).

- Chu, Z., Fan, X., Wang, W., Huang, W. (2019). Evaluación cuantitativa de los riesgos de contaminación por metales pesados y estimación de los costos ambientales de los metales pesados en los lixiviados durante el compostaje de desechos alimentarios. *Gestión de residuos*, 84 (2019).
- Feng, S., Zhao, Y., Zhang, X., Bai, Z. (2020). Investigación, evaluación y contramedidas de ingeniería de fugas de lixiviados para hacer túneles debajo de un vertedero de RSU. *Ing. Geol*, 265 (2020).
- Ferronato, N., Torretta, V. (2019). Mala gestión de desechos en los países en desarrollo: una revisión de los problemas globales. *En t. J. Env. Res. Salud pública*, 16 (6).
- Guerrero, A., Maas, G., Hogland, W. (2013). Desafíos de la gestión de residuos sólidos para las ciudades de los países en desarrollo. *Gestión de residuos*, 33 (1).
- Hahladakis, J. N., Aljabri, H. M. S. J. (2019). Delimitación del estado de los residuos plásticos en el Estado de Qatar: oportunidades potenciales, rutas de recuperación y reciclaje. *Ciencia Entorno Total*, 653 (2019).
- Hazra, T., Goel, S. (2009). Gestión de residuos sólidos en Kolkata, India: Prácticas y desafíos. *Gestión de residuos*, 29 (1) (2009).
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. (2012). Qué desperdicio: una revisión global de la gestión de residuos sólidos. (2012)
- Ikehata, K., Li, Y. (2018). Procesos basados en ozono. *Procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales* (2018).
- Iravanian, A., Ravari, S. (2020). Tipos de contaminación en vertederos y efectos sobre el medio ambiente: un estudio de revisión. *Conferencia de la OIO. Ser.: Medio Ambiente Terrestre. Ciencia*, 614 (2020).
- Khan, A., Sharholly, M., Alam, P., Al-Mansour, A., Ahmad, K., Kamal, M., Alam, S., Perves, M., Naddeo, V. (2022). Evaluación del análisis costo beneficio de los sistemas de manejo de residuos sólidos municipales. *Universidad J. King Saud. ciencia*, 34 (4).
- Khan, S., Anjum, R., Raza, S., Bazai N., Ihtisham, M. (2021). Tecnologías para la gestión de residuos sólidos municipales: estado actual, desafíos y perspectivas futuras. *Chemosphere*, 288 (1) (2021).
- Li, Z. Ma, Z., Van, J. Yuan, Z., Huang, L. (2014). Una revisión de la contaminación del suelo por metales pesados de las minas en China: contaminación y evaluación de riesgos para la salud. *Ciencia Entorno Total*, 468 (2014).

- Lim, L., Lee, H., Wu, Y. (2016). Sostenibilidad del uso de tecnologías de compostaje y vermicompostaje para la biotransformación de residuos sólidos orgánicos: resumen reciente, emisiones de gases de efecto invernadero y análisis económico. *J. Limpio. Pinchar*, 111 (2016).
- Lipinska, A., Wyszowska, J., Kucharski, J. (2021). Actividad microbiológica y bioquímica en suelos contaminados con pireno sometidos a bioaumentación. *Contaminación del suelo del aire del agua*, 232 (2021).
- Lohri, R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., Zurbrügg, C. (2017). Tecnologías de tratamiento de biorresiduos sólidos urbanos para crear productos de valor: una revisión centrada en entornos de ingresos bajos y medios. *Rev. Medio Ambiente. ciencia Biotecnología*, 16 (1).
- Lu, J., Zhang, S., Hai, J., Lei, M. (2017). Estado y perspectivas de la incineración de residuos sólidos municipales en China: una comparación con las regiones desarrolladas. *Gestión de residuos*, 69 (2017).
- Mahbub, R., Krishnan, K., Naidu, R., Megharaj, M. (2016). Resistencia al mercurio y volatilización por *Pseudoxanthomonas* sp. SE1 aislado del suelo. *Reinar. Tecnología innovador*, 6 (2016).
- Mantovani, A., Tarola, O., Vergari, C. (2017). ¿Producción al final del proceso o más limpia? Cómo volverse ecológico en presencia de la desigualdad de ingresos y el comportamiento proambiental. *J. Limpio. Pinchar*, 160 (2017).
- Markic, D. N., Carapina, H. S., Bjelic, D., Bjelic, L. S. Ilic, P., Pesic, Z. S. Kikanovicz, O. (2019). Uso del análisis de flujo de materiales para la planificación de la gestión de residuos. *Polaco J. Medio Ambiente. Semental*, 28 (1).
- Martin, R., Robey, M., Ma, S., Powers, C., Heyes, A., Schmitt-Kopplin, P., Cooper, J., Townsend, G., Gonsior, M. (2021). Caracterización de la composición molecular de lixiviados de vertederos mediante espectrometría de masas de ultra alta resolución. *Reinar. ciencia Agua Res. Tecnología*, 7 (2021).
- Martínez-Sánchez, V., Levis, W., Damgaard, A., DeCarolis, F., Barlaz, A., Astrup, F. (2017). Evaluación de costos de externalidades en la optimización del ciclo de vida de los sistemas de gestión de residuos sólidos municipales. *Reinar. Ciencia Tecnología*, 51 (6).

- Martín-Marroquín, M. A., Hidalgo, D. (2014). Desechos ganaderos: miedos y oportunidades. *Medio Ambiente, Energía y Cambio Climático I*, Springer (2014).
- Meza, T., Al-Ghamdi, S., Koç, M. (2019). Sostenibilidad en mega eventos: más allá de Qatar 2022. *Sustentabilidad*, 11 (22).
- Midgley, W. J. B., de C. Henshaw, M. J., Alshuhri, S. (2021). Un enfoque de ingeniería de sistemas para problemas a escala nacional: gestión de residuos sólidos municipales en Arabia Saudita. *Sist. Ing.* (2021).
- Mohammadi, A., Zarei, A., Majidi, S., Ghaderpoury, A., Hashempour, Y., Saghi, H., Alinejad, A., Yousefi, M., Hosseingholizadeh, N., Ghaderpoori, M. (2019). Evaluación de riesgos para la salud cancerígenos y no cancerígenos de metales pesados en el agua potable de KhorramabadIran. *MétodosX*, 6 (2019).
- Moya, D., Aldas, C., López, G., Kaparaju, P. (2017). Los residuos sólidos urbanos como un valioso recurso de energía renovable: una oportunidad mundial de recuperación de energía mediante el uso de tecnologías de conversión de residuos en energía. *Energia Procedia*, 134 (2017).
- Mukherjee, S., Mukhopadhyay, S., Hashim, A., Sen, B. (2015). Cuestiones ambientales contemporáneas de los lixiviados de vertederos: evaluación y remedios. *Crítico. Rev. Medio Ambiente. Ciencia Tecnología*, 45 (5).
- Nanda, S-, Berruti, F. (2020). Gestión de residuos sólidos municipales y tecnologías de relleno sanitario: una revisión. *Reinar. Química Letón*. (2020).
- ONU. (sf). ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible? Informe PNUD.
- Onwosi, O., Igbokwe, C., Odimba, N., Eke, E., Nwankwoala, O., Iroh, I. Ezeogu. (2017). Tecnología de compostaje en la estabilización de residuos: sobre los métodos, desafíos y perspectivas de futuro. *J. Medio Ambiente. Administrar*, 190 (2017), págs. 140 - 157, 10.1016/j.jenvman.2016.12.051
- Osinowo, O., Falufosi, O., Omiyale, O. (2018). Estudios geofísicos integrados electromagnéticos (EM) y de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) del impacto ambiental del vertedero de Awotan en Ibadan, suroeste de Nigeria. *J.Afr. Ciencias de la Tierra*, 140 (2018).
- Ramos, R., Ferreira, E., Kumar, V., Garza-Reyes, Cherrafi, A. (2018). Un método de evaluación comparativa de producción ajustada y más limpia para la evaluación

- de la sostenibilidad: un estudio de empresas manufactureras en Brasil. *J. Limpio. Pinchar*, 177 (2018).
- Rossi, E., Pecorini, I., Iannelli, R. (2020). Oxidación de metano del gas residual de vertedero en un biofiltro a gran escala: evaluación del riesgo para la salud humana de las emisiones de compuestos volátiles y malolientes. *Reinar. ciencia contaminar Res*, 1–13 (2020).
- Sánchez-García, M., Albuquerque, A., Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Cayuela, L. (2015). El biocarbón acelera la degradación de la materia orgánica y mejora la mineralización del N durante el compostaje del estiércol avícola sin un impacto relevante en las emisiones de gases. *Biorrecursos. Tecnología*, 192 (2015).
- Segura, A., Rojas, L., Pulido, Y., (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Espacios: 41 (17) Año 2020*. pp. 22.
- Severo, A., de Guimarães, F., Dorion, H., Nodari, H. (2015). Producción más limpia, sustentabilidad ambiental y desempeño organizacional: un estudio empírico en la industria metalmeccánica brasileña. *J. Limpio. Pinchar*, 96 (2015).
- Siddiqi, S., Al-Mamun, A., Sana, A., Baawain, M., Choudhury, M. (2021). Caracterización y potencial contaminante de lixiviados de vertederos urbanos durante periodos secos y húmedos en regiones áridas. *Suplemento de agua*, 22 (3) (2021).
- Sultana, S., Rana, S., Yamazaki, S., Aono, T., Yoshida, S. (2017). Evaluación de riesgos para la salud por exposición a metales pesados cancerígenos y no cancerígenos de vegetales y frutas de Bangladesh. *Entorno convincente. Ciencia*, 3 (1).
- Talalaj, I., Biedka, P., Bartkowska, I. (2019). Tratamiento de lixiviados de vertedero con pretratamientos biológicos y ósmosis inversa. *Reinar. química Letón*, 17 (2019).
- Varank, G. Demir, A., Top, A., Sekman, E., Akkaya, E., Yetilmezsoy, K., Bilgili, M. (2017). Comportamiento de migración de contaminantes de lixiviados de vertederos a través de revestimientos compuestos alternativos. *Ciencia Entorno Total.*, 409 (17).
- Vaverkova, M. (2019). Impactos de los vertederos en el medio ambiente-revisión. *Geociencia*, 9 (10).
- Verrier, B., Rose, N., Caillaud, E. (2016). Estrategia Lean and Green: modelo Lean and Green House y madurez. *J. Limpio. Pinchar*, 116 (2016).

- Wagner-Döbler, I. (2013). Biorremediación de mercurio: investigación actual y aplicaciones industriales. *Prensa científica del horizonte* (2013).
- Xiao, R., Awasthi, M., Li, R., Park, J., Pensky, M., Wang, Q., Wang, J., Zhang, Z. (2017). Desarrollos recientes en la utilización de biocarbón como aditivo en el compostaje de residuos sólidos orgánicos: una revisión. *Biorrecursos. Tecnología*, 246 (2017).
- Zhang, J., Chen, G., Sun, H., Zhou, S., Zou, G. (2016). El biocarbón de paja acelera la degradación de la materia orgánica y produce compost rico en nutrientes. *Biorrecursos. Tecnología*, 200 (2016).