

ESTUDIO DE RIESGOS

COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN CIENFUEGOS

RISK STUDY AS A TOOL FOR THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN CIENFUEGOS

Tatiana Alonso Pérez^{1*}

E-mail: geotap23@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3761-0702>

Víctor Manuel Navarro Falcón²

E-mail: vnavarrofalcon@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4288-9947>

Lázaro Lorenzo Betancourt Pineda³

E-mail: lbetancour57@gmail.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1480-4144>

Regla María Alomá Oramas⁴

E-mail: alomarm1965@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4827-9683>

Yenizeys Cbrales Caballero⁵

E-mail: yenizeys@gestion.ceac.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3323-7955>

¹Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Cienfuegos, Cuba

²Centro de Información y Gestión Tecnológica Cienfuegos (CIGET-IDICT). Cienfuegos, Cuba.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Alonso Pérez, T, Navarro Falcón, V. M, Betancourt Pineda, L. L., Alomá Oramas, R. M. & Cbrales Caballero. Y. (2025). Estudio de riesgos como herramienta para la gestión ambiental de los residuos sólidos municipales en Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 17(4), e5055.

RESUMEN

La gestión ambiental de los residuos sólidos municipales requiere la aplicación de múltiples herramientas científicas, que permitan fundamentar el empleo de mejores

prácticas. Por ello, los estudios de riesgos en la etapa de vertimiento final, son necesarios para determinar las fuentes potenciales de daños, principalmente para los trabajadores, los bienes materiales, la sociedad y el ambiente. El objetivo de la investigación fue evaluar los riesgos asociados a la actividad de disposición final, a cielo abierto, de los residuos sólidos en el vertedero del municipio de Cienfuegos, como herramienta para la mejora de su gestión ambiental. Se aplicaron metodologías basadas en normas internacionales, talleres de expertos, trabajos de campo y una amplia búsqueda de información. Como resultado, se pudo determinar la existencia de diecinueve riesgos asociados a los principales peligros evaluados: naturales, sanitarios, tecnológicos y socioeconómicos. Los riesgos fueron clasificados en severos, importantes, moderados y tolerables para facilitar los niveles de prioridad de actuación. Finalmente se determinó que los daños sistemáticos a los recursos naturales (agua, suelo, aire), las afectaciones a la salud y seguridad del trabajo, los incendios y los perjuicios a la economía local, constituyen los riesgos principales y de mayor incidencia. Esta compleja problemática ambiental dificulta el correcto manejo de residuos en todas sus etapas, particularmente en la disposición final. Aun cuando se propusieron acciones correctivas, el estudio demostró la necesidad de eliminar esta mala práctica, altamente riesgosa para el medio ambiente y las zonas habitadas en el entorno del vertedero municipal de Cienfuegos.

Palabras clave: Residuos Sólidos, Vertedero a Cielo Abierto, Riesgos, Gestión Ambiental.



ABSTRACT

The environmental management of municipal solid waste requires the application of multiple scientific tools, which allow the use of best practices to be based. Therefore, risk studies in the final dumping stage are necessary to determine the potential sources of damage, mainly for workers, material goods, society and the environment. The objective of the research was to evaluate the risks associated with the activity of final disposal, in the open air, of solid waste in the dump of the municipality of Cienfuegos, as a tool for the improvement of its environmental management. Methodologies based on the international standards, expert workshops, field work and an extensive search for information were applied. As a result, it was possible to determine the existence of nineteen risks associated with the main hazards evaluated: natural, health, technological and socioeconomic. The risks were classified as severe, important, moderate and tolerable to facilitate the priority levels of action. Finally, it was determined that systematic damage to natural resources (water, soil, air), effects on occupational health and safety, fires and damage to the local economy, were assessed as the main risks and with the highest incidence. This complex environmental problem makes it difficult to properly manage waste in all its stages, particularly in final disposal. Even when corrective actions were proposed, the study demonstrated the need to eliminate this bad practice, which is highly risky for the environment and inhabited areas around the municipal dump of Cienfuegos.

Keywords: Solid Waste, Dump, Risk, Environmental Management.

INTRODUCCIÓN

En un contexto planetario complejo, asociado al cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación, la gestión sostenible de residuos resulta ser relevante en la promoción de modelos tendientes a enfrentar los distintos desafíos ambientales (PNUMA, 2024). Si bien la disposición final adecuada de los residuos sólidos en la región de América Latina y el Caribe ha mejorado significativamente en las décadas recientes, aproximadamente 145.000 t/día se destinan todavía a basurales, quemas u otras prácticas inadecuadas, lo que es equivalente al 27% de la población regional, o los residuos generados por 170 millones de personas (Savino et al., 2018; PNUMA, 2018). Lo anterior, genera serios riesgos para la salud, tanto para el personal que opera de manera habitual en los vertederos, como para la población circundante (Khan et al., 2022). Al mismo tiempo, da lugar a un conjunto de impactos ambientales severos, incluyendo la contaminación de las aguas, la emisión de gases tóxicos

y gases de efecto invernadero, así como la contaminación de los suelos, que afectan a su vez diversas actividades productivas (Pon et al., 2021).

En Cuba, el depósito en vertederos a cielo abierto ha sido, durante décadas, la forma de eliminación de Residuos Sólidos Municipales (RSM) más utilizada (Díaz et al., 2019). Esto se debe a su capacidad para admitir grandes volúmenes de residuos, así como al bajo costo que demanda su explotación y la facilidad de su operación. Sin embargo, en la actualidad, la disposición final es el eslabón más débil dentro del proceso de manejo, derivándose numerosos riesgos al medio ambiente y a la salud humana (Figueredo, 2020). Por tal razón, si bien la competencia en el manejo corresponde a las municipalidades, las dificultades de la gestión de los residuos en general y de los vertederos a cielo abierto en particular, son una preocupación de alcance nacional y uno de los más complejos problemas ambientales del país (Miranda & Figueredo, 2023).

En el municipio de Cienfuegos también se utiliza el depósito a cielo abierto para el destino final de residuos. Su dinámica supone un notable número de riesgos, cuya evaluación resulta importante y necesaria. Distintos factores como las variables de localización de los sitios de depósito, sus formas de explotación y control, además de los componentes sociodemográficos, constituyen elementos importantes que deben ser considerados. Esto podría reducir potencialmente los riesgos percibidos y el descontento público en torno a las instalaciones de destino final de los residuos (Payyappilly et al., 2025). El análisis de datos aportados por estudios precedentes en el Vertedero Municipal de Cienfuegos (VMC) como los de Barreiro et al. (2007); Morera et al. (2025) & Bolaños et al. (2025), corroboran las falencias resultantes de esta mala práctica y revelan la importancia de considerar la evaluación de riesgos como herramienta útil para gestionar adecuadamente el destino final de los RSM.

Del mismo modo, varios autores en el contexto internacional como Araiza et al. (2021); Gautam et al. (2024) y Saa et al. (2024), coinciden en la importancia del estudio de riesgos para el manejo de vertederos. En sus análisis lo distinguen como fundamental para implementar prácticas sostenibles y mejorar la eficacia en la gestión ambiental de los RSM (Nguyen et al., 2025). Un adecuado estudio de riesgos, puede proporcionar una vía para que las localidades realicen la transición hacia prácticas de gestión de residuos más sostenibles y resilientes, asegurando que el manejo de los vertederos contribuya no solo a reducir los riesgos ambientales sino también a promover los objetivos más amplios del desarrollo sostenible (Goh et al., 2025).

Tomando en cuenta estos criterios, el objetivo de la investigación se enfoca en evaluar los riesgos asociados a la actividad de disposición final, a cielo abierto, de los RSM en el vertedero de Cienfuegos, como herramienta para la mejora de su gestión ambiental. Esto permitirá la definición de causas y peligros vinculados a sucesos iniciadores, para determinar y evaluar los riesgos asociados o los efectos beneficiosos. La meta es una optimización de la gestión del riesgo ambiental, así como las oportunidades y capacidades, que aseguren la mejora continua de los procesos de manejo en el destino final de los RSM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se aplicaron las metodologías basadas en la norma ISO 14001:2015: “GM-22. Revisión Ambiental-Contexto de la Organización” y “GM-4 Análisis Preliminar de Riesgos de Procesos”, ambas del Centro de Información y Gestión Tecnológica de Cienfuegos [CIGET-IDIC] (2020).

El uso del método cartográfico facilitó la confección de mapas del vertedero y la recopilación de datos relevantes tales como la distancia entre puntos, la altura del terreno, el área ocupada y las pendientes. La información se procesó con la herramienta open-source Geographic Information Systems (GIS), QGIS versión 3.22.5 Białowieża y el uso de las coordenadas planas rectangulares, según la Proyección Cónica Conforme de Lambert EPSG 2085 NAD27/Cuba Norte. Se utilizaron las hojas topográficas del municipio de Cienfuegos en formato digital a escala 1:25000 y el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la propia área con una resolución espacial de 26,0 m; elaborado en 2008 por el Grupo Empresarial GEOCUBA.

Fueron además aplicados los métodos de observación in situ, descriptivo, explicativo, inductivo-deductivo, de análisis y de síntesis. Se realizaron entrevistas que resultaron de gran utilidad para la obtención de información contextualizada. El empleo de estos métodos y herramientas, permitieron a los expertos establecer relaciones entre las características físico-geográficas del área de estudio y su contexto socioeconómico, con un enfoque particular en las implicaciones derivadas de las actividades desarrolladas en este sitio.

El proceder metodológico contó de dos etapas fundamentales. En la primera se procedió a determinar el contexto de la organización, considerando los elementos internos y externos que son pertinentes a la misión de la entidad encargada del manejo de los RSM y que afectan su capacidad para lograr los resultados previstos en su gestión ambiental. En este sentido, se realizó la búsqueda de datos en la Empresa Provincial de Servicios Comunes Cienfuegos, referidos a la estructura, procedimientos, operaciones y gestión de la empresa en el vertedero municipal. Esto fue pertinente para definir el mapa conceptual de procesos. En él se identificaron los procesos: estratégico, clave y de apoyo, así como las entradas y salidas de cada uno de ellos. Se efectuó una amplia revisión bibliográfica sobre investigaciones precedentes en el sitio de vertimiento y su entorno. Para el levantamiento y verificación de información en el terreno se realizaron tres trabajos de campo.

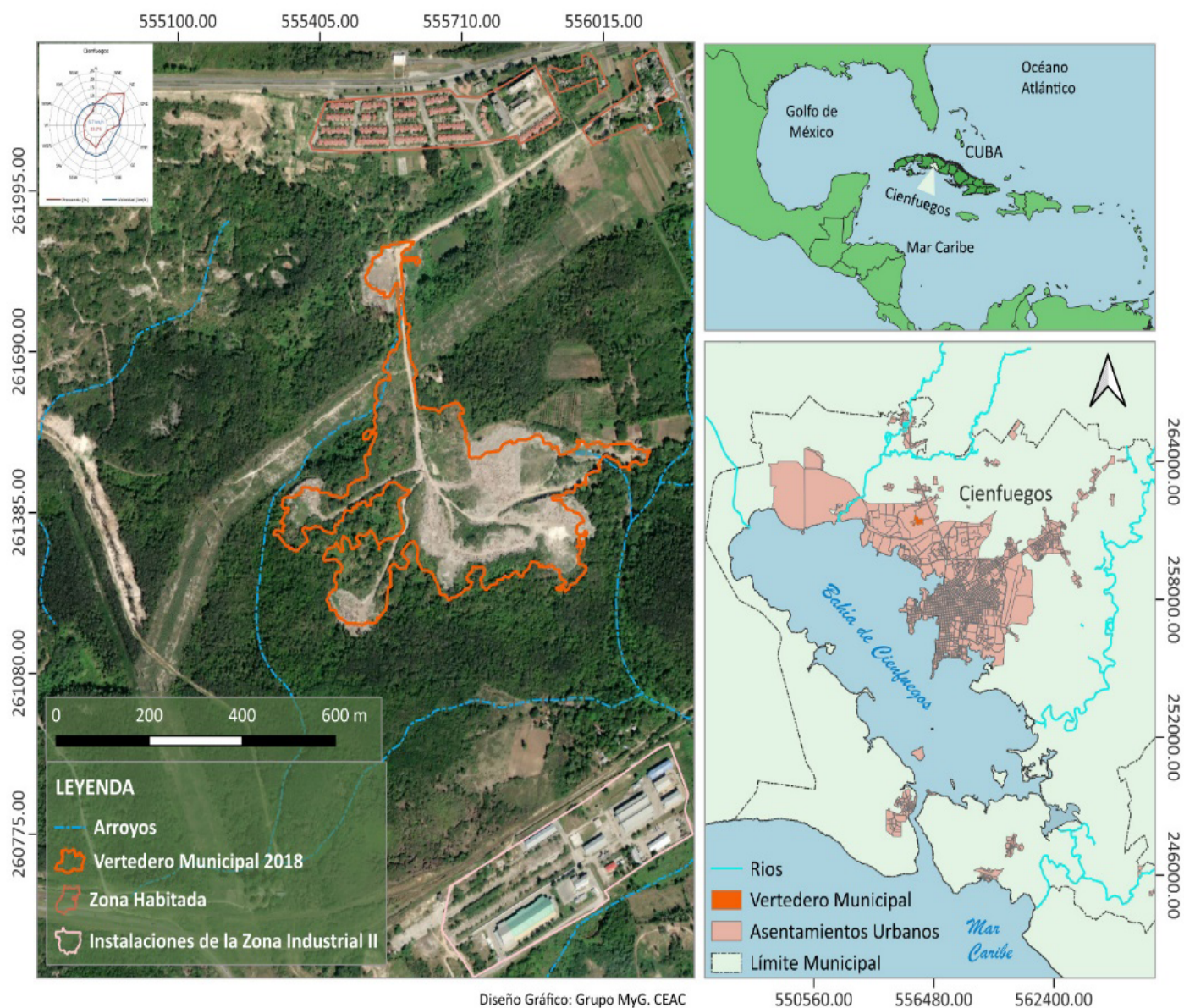
La segunda etapa se desarrolló mediante cuatro talleres técnicos, con la participación de 16 expertos, facilitando el consenso informado sobre el tema en cuestión. Esto permitió la determinación de los aspectos ambientales (reales/potenciales) asociados a los procesos, actividades que se realizan en el vertedero considerando condiciones de operaciones normales y anómalas, así como cualquier situación razonablemente previsible de emergencia. Más adelante, este mismo grupo de expertos definió los escenarios de peligro, realizando el análisis, evaluación y clasificación de los principales riesgos ambientales y tecnológicos derivados de las actividades del vertedero.

Para una mejor comprensión de los resultados, la información fue sintetizada y sistematizada mediante la elaboración de tablas y matrices. Finalmente se elaboró la propuesta de medidas correctivas para minimizar los riesgos. En ambas etapas se utilizó la representación gráfica del código semáforo, para una mejor visualización y comprensión de los resultados de las clasificaciones realizadas.

Área de estudio

El vertedero municipal se ubica en la Zona Industrial II de la ciudad de Cienfuegos, tal como se muestra en la Figura 1. No tiene límites bien definidos ni se encuentra perimetralmente cercado, por lo que el área varía de manera periódica, en dependencia de los constantes movimientos de tierra que se realizan. Al cierre de 2021, según cálculos realizados durante la presente investigación abarcaba un área de 15,1 ha.

Fig 1. Mapa de ubicación del vertedero municipal de Cienfuegos.



Fuente: Elaboración propia.

El emplazamiento de este sitio aparece sobre un relieve de llanura ondulada, de origen marino abrasivo-acumulativo, sobre rocas calizas de la formación geológica Güines (Instituto de Geología y Paleontología [IGP], 2007), alcanzando 37.5 m.s.n.m. en su zona de máxima altura. La composición general del material geológico es calcáreo-detrítico (IGP, 2007), condicionando su susceptibilidad a la presencia de aguas residuales aciduladas por descomposición de materia orgánica o la presencia de lixiviados. A la vez, se constata en el terreno las variaciones periódicas de la topografía; consecuencia de la compactación de residuos que constantemente se realizan para el aprovechamiento del espacio. Las pendientes oscilan entre 2° - 45° favoreciendo, en la mayoría de las zonas, el rápido drenaje superficial por encima de la infiltración.

En los trabajos de campo se evidenció que dicho drenaje superficial se canaliza principalmente por un afluente permanente del arroyo Manacas y otro de tipo estacional o intermitente, nombrado La Gata. Ambos circundan el área de depósito, evacuando directamente a la bahía de Cienfuegos, la que se ubica a 1,2 km del vertedero. De igual forma, se identifican otras líneas de escurrimiento de aparición espontánea en periodos de lluvias, además del aporte laminar del terreno. Otro aspecto importante a considerar es su emplazamiento sobre la cuenca subterránea CF-3 Abreu cuyo radio de influencia se extiende, en parte, sobre la cuenca CF-6 Cienfuegos (García & Valdés, 2021). Dicha cuenca

subterránea, aunque no cuenta con potencial para el consumo humano, puede ser utilizada para otras actividades como el regadío. Por lo tanto, debe alertarse sobre la susceptibilidad de contaminación por infiltración, que pueden ocasionar las actividades del vertedero.

Desde el punto de vista natural, el suelo de la zona se clasifica como pardo carbonatado típico, de la variedad arcilla loamosa, de poca graviliosidad y moderadamente pedregoso (Hernández et al., 2015). Si embargo, este importante recurso ha sido completamente alterado en su perfil natural por las características propias del vertimiento, pudiendo ser clasificado como tecnosol (IUSS Working Group WRB, 2022). Se observó en el terreno que, debido a los sistemáticos movimientos de tierras, excavaciones y rellenos, el suelo presenta capas de composición variada, en correspondencia con los materiales removidos o depositados. La compactación que se produce por los equipos mecanizados, hace que en algunos sectores resulte más difícil la infiltración. Esto conlleva a la acumulación superficial de líquidos y procesos de erosión laminar. También provoca el arrastre de residuos y escurrimiento de aguas con químicos tóxicos disueltos hacia zonas bajas.

La influencia del clima igualmente es un aspecto importante que debe ser valorado. Las condiciones climáticas y meteorológicas comprenden todos los factores ambientales que influyen en los procesos de transformación y descomposición de los residuos sólidos. La temperatura, por ejemplo, ejerce su efecto en las capas superiores del terreno, mientras en el perfil interior, esta incide en los procesos bioquímicos de la descomposición de los materiales. También la frecuencia de inversiones térmicas origina situaciones en las que se produce una deficiente depuración atmosférica. Por su lado, las precipitaciones juegan un papel determinante en el lavado de residuos, favoreciendo la solubilización de los componentes tóxicos de los residuos y potenciando el arrastre de lixiviados (Viera et al., 2024).

Otra variable climática que puede ocasionar riesgos en el vertedero es el régimen de vientos. En este contexto, resulta fundamental evaluar su capacidad para facilitar la expansión de residuos y la dispersión de olores desagradables, especialmente en la proximidad a núcleos poblados. Además, los vientos juegan un papel crucial en la generación y propagación de incendios en vertederos a cielo abierto, como el que se presenta en el caso de estudio. En la zona de estudio se presentan vientos locales como las brisas y el terral y tiene direcciones predominantes del Sur al Suroeste con velocidades entre 10-15 km/h. Bajo este régimen de vientos (brisas marinas) la comunidad Petrocasas, ubicada aproximadamente a 500 m al norte del mismo, se ve fuertemente afectada por la dispersión de malos olores, gases y humo procedente de la quema de residuos en el vertedero.

El clima en el área está influenciado principalmente por la cercanía al mar, factor que modifica significativamente el campo de temperatura y vientos fundamentalmente. También se recibe la influencia estacional de las zonas de circulación atmosférica tropical y extra tropical, lo que determina dos estaciones al año con diferencias marcadas. En la temporada que va aproximadamente de noviembre a abril (estación poco lluviosa), las variaciones del tiempo y el clima están asociadas fundamentalmente al paso de sistemas frontales, a la influencia anticiclónica de origen continental y de centros de bajas presiones extra tropicales. De mayo a octubre (estación lluviosa) predomina la influencia más o menos marcada del Anticiclón del Atlántico Norte y los cambios más significativos en el tiempo se vinculan con la presencia de ondas del este y ciclones tropicales, vaguadas en el flujo del oeste, bajas de desprendimiento en la altura y líneas de turbonadas. La intensidad y frecuencia de ocurrencia de dichos fenómenos, se convierten en amenazas potenciales que pueden incrementar los riesgos de contaminación ambiental y desastres de tipo tecnológico en el vertedero (Viera et al., 2024).

Tal como se ha explicado, la descripción físico geográfica muestra las características y vulnerabilidades del área para el depósito de residuos sólidos a cielo abierto. Particularmente, la topografía del terreno, el sistema de drenaje, el clima imperante, la cercanía a zonas habitadas y a ecosistemas importantes como la bahía, son elementos claves que se deben considerar en el estudio de riesgos del VMC.

RESULTADOS-DISCUSIÓN

En la determinación del contexto de la organización para la Unidad Básica Municipal de Servicios Comunes Cienfuegos, se definió como proceso clave/operacional para el análisis de riesgos, la disposición final de los RSM. En el caso de estudio, los pasos operativos seguidos e identificados para este proceso durante la investigación resultan:

- **Recolección:** proceso de recolecta de los RSM en áreas urbanas, principalmente en comercios, hogares y otras instalaciones
- **Transportación:** implica el traslado de los residuos desde los puntos de recolección hasta el destino final. Se realiza con el uso de camiones abiertos, tractores, tracción animal, camión especializado cerrado.
- **Vertimiento:** depósito de RSM no clasificados, desordenado y sin control en los diferentes puntos del vertedero.
- **Reapile:** concentración de las pilas de RSM en áreas específicas mediante un bulldozer.

- Enterramiento: apertura y cierre de cavidades o trincheras en el suelo, para el enterramiento de los residuos biológicos peligrosos, sin clasificación ni tratamiento previo.

En la Figura. 2 se muestra el mapa conceptual de los procesos que en la actualidad se desencadenan de la disposición final de los RSM en Cienfuegos. De acuerdo con Miranda & Figueredo (2023) este sistema, aunque busca optimizar las operaciones en el manejo de residuos, afronta numerosos retos para alcanzar una gestión ambiental eficaz. Limitaciones financieras y de inversión, insuficiente infraestructura, falta de equipamientos y tecnologías modernas, dificultades con la fuerza laboral, crisis de combustible y transportación inadecuada, son algunos de los obstáculos identificados. Al mismo tiempo, se añade el incumplimiento de las regulaciones y normativas vigentes, lo cual agrava la complejidad del problema. Se observó que cada una de las actividades de este proceso presentan deficiencias en cuanto a la sistematicidad operacional, así como en la seguridad y protección, tanto de los trabajadores, como del medioambiente y las zonas habitadas en el entorno del vertedero.

Fig 2. Mapa conceptual de procesos para el vertedero municipal de Cienfuegos.



Fuente: Elaboración propia en base a CIGET-IDIC (2020).

Es notorio que la combinación de los factores referidos como limitantes, generan un contexto complejo caracterizado por un manejo fragmentado y plagado de limitaciones. Esta situación crítica requiere una transformación urgente hacia la gestión integral de los RSM, considerando políticas apropiadas, estrategias con enfoques novedosos, participación comunitaria y un marco regulatorio robusto y actualizado.

Identificación de los Aspectos Ambientales para la disposición final de los residuos sólidos en el Vertedero Municipal de Cienfuegos.

A partir de los elementos de entrada y salida de los procesos operacionales, se determinaron diecinueve aspectos ambientales (reales y/o potenciales), asociados a las actividades que se realizan en VMC, considerando condiciones de operaciones normales y anormales, así como cualquier situación razonablemente previsible de emergencia. Estos se muestran en la Tabla 1.

Los cambios y efectos sobre el medio ambiente como resultado de los aspectos ambientales identificados fueron los siguientes:

- Impactos sobre el relieve: transformación de la topografía del área.
- Impactos sobre el suelo: contaminación de los suelos; transformación de la estructura del suelo; erosión.
- Impactos sobre los recursos hídricos: contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (cambio de las características físico-químicas de las aguas subterráneas y superficiales).
- Impactos sobre la calidad del aire: contaminación del aire (acústica, material particulado, olores); calentamiento global; gases de efecto invernadero.

- Impactos sobre la salud humana: generación y propagación de vectores, enfermedades respiratorias, dermatológicas y otras.
- Agotamiento de recursos energéticos: uso y consumo combustibles fósiles no renovables (fuel oil y diésel oil para generar electricidad).
- Impactos sobre la biodiversidad: afectaciones a la fauna; afectaciones a la flora
- Impactos sobre el paisaje: afectaciones a la calidad visual.

Tabla 1. Matriz de los Aspectos Ambientales.

	Aspecto Ambiental (AA)	N	VLC	VI	NSAA	P	S/S	VRB	VOB
1	Reducción de residuos a nivel urbano	B	B	30	A	I	S	21	30
2	Aprovechamiento de residuos como nuevos recursos (reuso, reciclaje)	B	B	24	A	I	S	25	30
3	Disposición final a cielo abierto de los RSM en el VMC	P	B	33	A	I	S	33	-
4	Consumo de la energía eléctrica	P	M	10	B	III	NS	10	-
5	Consumo de combustibles	P	M	24	A	I	S	24	-
6	Uso del suelo	P	B	33	A	I	S	33	-
7	Desbroce de vegetación	P	B	33	A	I	S	33	-
8	Uso y explotación de recursos naturales del medio físico perceptual: valores paisajísticos	P	B	33	A	I	S	33	-
9	Generación, descargas y disposición final de residuos sólidos: urbanos, inertes, peligrosos, industriales y/o agropecuarios, domésticos, otros	P	B	33	A	I	S	33	-
10	Emisión de gases de efecto invernadero: (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, COV, NH ₃ , NO _x) y otros contaminantes atmosféricos (SO _x , NO _x , CO, polvo y partículas)	P	M	27	A	I	S	27	-
11	Generación de ruido	P	M	16	M	II	S	16	-
12	Generación de fetidez	P	M	16	M	II	S	16	-
13	Lavado y arrastre de contaminantes	P	M	27	A	I	S	27	-
14	Situación potencial de evento tecnológico: Emisión o fuga accidental de sustancias o agentes/ mal manejo de los desechos sanitarios y/o peligrosos	P	B	18	M	II	S	18	-
15	Situación potencial de evento sanitario: Epidemias y Epizootias	P	M	18	M	II	S	18	-
16	Situación potencial de accidente Químico: Incendio	P	M	18	M	II	S	18	-
17	Situación potencial de eventos naturales extremos: Ciclón tropical, tornados, intensas lluvias	P	B	27	A	I	S	27	-
18	Situación potencial de evento natural: Actividad sísmológica y presencia de carso	P	B	9	B	III	NS	9	-
19	Situación potencial de evento tecnológico: Accidentes catastróficos del transporte	P	M	9	B	III	NS	9	-

Fuente: Elaboración propia en base a CIGET-IDIC (2020).

Donde:

N – Naturaleza de AA: B- Beneficioso/P- Perjudicial

VCL – Valor del cumplimiento legal aplicable al AA: Bajo/Medio/Alto

VI – Valor de importancia del AA

NSAA – Nivel de significancia del AA: Bajo/Medio/Alto

P – Prioridad en la gestión del AA: I/II/III

VRB – Valor del Riesgo Base: deterioro y afectaciones de los componentes del medio impactado, asociados al AA

VOB – Valor de la Oportunidad Base: restablecimiento, mejoramiento y satisfacción de los componentes del medio impactados

S/NS – Significativo/No Significativo

El consumo de agua fue descartado del análisis para la evaluación de los aspectos ambientales, pues mediante el trabajo de campo se comprobó que este recurso no se utiliza para las actividades del vertedero.

De los diecinueve aspectos ambientales relacionados con las entradas y salidas de las actividades que se determinaron, diecisiete se identificaron como negativos o perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. En contraste, el análisis indica únicamente dos aspectos ambientales beneficiosos de la actividad en el VMC. El primero se refiere a la reducción de la fuente de residuos y contaminantes a nivel urbano; toda vez que la acumulación de residuos en el vertedero, permite mitigar la dispersión de estos en el espacio urbano. El segundo aspecto está relacionado con el aprovechamiento de residuos como nuevos recursos. Si embargo, respecto a este último, la evaluación arroja que el Valor de Riesgo Base (VRB) alcanza una puntuación alta considerando que una parte importante de los residuos se recuperan a través del reciclaje informal realizado desde el propio vertedero. Esta práctica contraviene las normativas establecidas y conlleva riesgos significativos para la salud humana. A pesar de ello, se reconoce su aporte a las cadenas de valor, el ahorro de recursos y la economía local, especialmente para las familias involucradas en este proceso. La notable disparidad entre los beneficios y las oportunidades evidencian la irracionalidad de aplicar este tipo de prácticas en la gestión ambiental del destino final de los RSM.

La evaluación de los aspectos ambientales identificados y de las actividades que interactúan con el medio ambiente, mediante la ponderación de los impactos ambientales asociados, permitió determinar 11 aspectos como los de mayor significancia. Hacia ellos se orientaron la mayor cantidad de acciones o medidas de mitigación y reducción de los riesgos asociados.

En relación con los requisitos legales aplicables a los diversos aspectos ambientales identificados y su grado de cumplimiento en el área de estudio, se reconocieron tres leyes, cuatro decretos, siete normas cubanas y una resolución. Todas estas normativas son pertinentes a los distintos procesos asociados con la disposición final de RSM en el vertedero de Cienfuegos. A través del criterio de expertos, se evaluó el estado de cumplimiento de las herramientas legales vigentes. Este análisis reveló la existencia de numerosas infracciones en el marco normativo y regulatorio, lo que obstaculiza la gestión adecuada de los residuos en todas sus etapas, especialmente en lo que respecta a la minimización de los riesgos asociados a la disposición final en vertederos a cielo abierto.

A su vez, se evidencia la existencia de vacíos legales en las Normas Cubanas-133, 134, 135: 2002, las que se vinculan directamente a la gestión de RSM. El análisis realizado coincide con lo planteado por Díaz et al. (2019) quienes advierten que:

Estas normas adoptan la gestión de los residuos con un enfoque post-consumo, es decir, su gestión se dirige al momento en que ya los residuos sólidos comunes adquirieron ese carácter y no a la generación de productos que luego se convierten en los mismos, por lo que no incluye dentro de sus fases a la generación. Solo la NC-134:2002 evidencia el principio de prevención cuando establece que “al realizar cualquier operación dentro de dicha etapa se debe garantizar que su resultado no constituya un problema ambiental. (p.399).

El estudio de caso muestra los importantes retos que enfrenta la consolidación y puesta en práctica de las regulaciones vigentes en materia RSM. Los expertos coinciden en que el mero cumplimiento de lo establecido, a pesar de las limitaciones técnicas de las normativas actuales, puede mejorar significativamente la gestión de residuos. En particular, esto contribuye a reducir de manera considerable los riesgos asociados a la disposición final de los mismos.

Identificación de las partes interesadas.

Considerar las partes interesadas del proceso de gestión resulta muy importante en el análisis de riesgos de la disposición final de residuos. Estos actores claves son los que deben influir en la efectividad de las políticas públicas para la gestión y mitigación de los impactos y riesgos ambientales ocasionados en el VMC. Mediante una correcta coordinación se pueden anticipar y evitar conflictos relacionados con la gestión de residuos, logrando un enfoque armonioso y coherente en la toma de decisiones.

La Tabla 2 muestra los principales actores que, al momento de la investigación, tenían incidencia en la gestión de residuos a nivel municipal. Puede apreciarse la presencia de entidades de nivel provincial, pues en la actualidad las relaciones de subordinación entre el municipio y la provincia siguen siendo de un alto grado de dependencia.

Tabla 2: Partes interesadas en la gestión de los RSM en Cienfuegos.

Partes interesadas en la gestión de los RSM en Cienfuegos		
Estado y Sociedad	Entes administrativos	Empresa Provincial de Servicios Comunes Cienfuegos Unidad Básica Municipal de Servicios Comunes Cienfuegos
	Entes reguladores, de control y fiscalización	Gobierno Provincial Cienfuegos Gobierno Municipal Cienfuegos Oficina Regulatoria y de Seguridad Ambiental Subdelegaciones de Ciencia y de Medio Ambiente (CITMA) Dirección Municipal de Salud Pública Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos Dirección Municipal de Ordenamiento Territorial y Urbano. Unidad Municipal de Higiene y Epidemiología Delegación Provincial del Ministerio de la Agricultura
	Otros Entes	Empresa Provincial de Materias Primas Comunidad Recolectores informales del vertedero Entidades generadoras de los RSM Consejo Popular Pastorita-O' Bourke Unidad Empresarial de Base Planta de Plástico Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos Universidad de Cienfuegos

Fuente: Elaboración propia en base a CIGET-IDIC (2020).

La identificación de las partes interesadas arroja un total de 19 actores que con distintos niveles de participación, roles y responsabilidades contribuyen actualmente a la gestión del destino final de los RSM en Cienfuegos. Al momento de la investigación la función administrativa se encontraba a cargo de la Unidad Básica Municipal de Servicios Comunes Cienfuegos. También la Empresa Provincial de este mismo sector, juega un papel determinante en la conducción y organización de las actividades que se ejecutan en el área de estudio. Como entes reguladores se reconocieron doce entidades estatales responsables de la planificación, control y fiscalización. Al mismo tiempo, aparecen otros actores que inciden en la generación, la investigación, la prevención, el aprovechamiento o que participan en las labores del vertimiento final de RSM.

Es notoria la ausencia en el proceso de gestión de los nuevos actores económicos, como los trabajadores por cuenta propia, las micro, pequeñas y medianas empresas, cooperativas no agropecuarias, entre otros. Esto dificulta el aprovechamiento de oportunidades de sumar esfuerzo y recursos. El encadenamiento también garantiza el aporte de innovación y la mejora en la eficiencia de los procesos. Igualmente, no aparecen involucrados el sistema de educación, organizaciones no gubernamentales o los medios de comunicación.

A través de la valoración de expertos se asevera que las acciones de gestión bajo el desempeño de estos actores tienen un carácter fragmentado, disperso, con limitado sustento normativo, regulatorio y de fiscalización en los procesos. Aunque en el territorio de Cienfuegos se trabaja actualmente en el desarrollo e implementación de políticas y estrategias para mejorar la gestión de RSM, estas no son aún efectivas. Las limitaciones en la visión estratégica, con carácter sistémico y holístico, constituyen frenos fundamentales para la ejecución de mejores prácticas. De igual modo, para superar las dificultades presentes en el sector de saneamiento, además de recursos e infraestructuras adecuadas, se demanda una correcta articulación de las partes interesadas. Este problema de la gestión resalta por su complejidad en la etapa de disposición final, donde se evidencia bajo nivel de concertación y múltiples desafíos para la ejecución de acciones cooperadas, efectivas y sostenibles.

Determinación de escenarios y peligros asociados.

Se determinaron diez posibles escenarios de peligro asociados a la actividad de disposición a cielo abierto de los RSM: (1) inundación por intensas lluvias; (2) colapso estructural del vertedero; (3) incendios; (4) accidente automotor; (5) accidente de transporte aéreo; (6) impacto social y económico negativo; (7) contaminación del aire; (8) contaminación de los suelos; (9) contaminación de las aguas superficiales y subterráneas; (10) situación potencial de evento sanitario/riesgo biológico: epidemias, epifitias y epizootias.

A partir de estos escenarios se identifican cuatro peligros principales los que, a su vez, se subdividen en diferentes tipos de amenazas:

- Peligros naturales: (geológicos, hidrometeorológicos, biológicos, incendios forestales).

- Peligros sanitarios de origen biológico: (enfermedades producidas por bacterias, virus, hongos, parásitos, etc.).
- Peligros Tecnológicos: (emisiones de gases, ruido, incendios tecnológicos, vertimiento a cielo abierto de los RSM, accidentes en el uso de equipos y tecnologías, vuelo de aeronaves en corredor aéreo por encima del vertedero).
- Peligros socioeconómicos: (perjuicios a la economía local, vandalismo, expansión del vertedero).

La evaluación mediante criterio de expertos, de estos escenarios determina que todos ellos son de alta y mediana probabilidad de ocurrencia, excepto los accidentes de transporte aéreo que, aunque su frecuencia de ocurrencia es baja, si deben ser considerados por el peligro que representa las aves que se alimentan de residuos en el vertedero.

Evaluación de riesgos.

En la Tabla 3 se presenta un ejemplo de los peligros analizados para la actividad de vertimiento a cielo abierto de los RSM. En ella se evaluaron los riesgos (consecuencias) teniendo en cuenta la manera en que se manifiesta cada peligro, la vulnerabilidad presente y las causas que originan el peligro. También se consideran los estudios u otro tipo de herramientas disponibles que pueden contribuir a la prevención o mitigación de los riesgos identificados, así como a su gestión efectiva. Finalmente, se proponen recomendaciones y acciones para la reducción de riesgos, estableciendo un orden de prioridad para su implementación.

Tabla 3. Matriz de evaluación de riesgos en el vertedero municipal de Cienfuegos.

Área/Inst.	Peligros	Manifestación del Peligro	Causas	Vulnerabilidades	Riesgos	Salvaguardas	P	Consecuencias			MR	Recomendaciones	Pd
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)			(10)	(11)	(I,II, III)
Vertedero Municipal de Cienfuegos	Peligros naturales de origen hidrometeorológicos (Fuentes fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias, tormentas eléctricas).	Incremento notable de los vientos en el área del vertedero con velocidades entre 64 km/h y hasta más de 250 km/h.	Tormentas Tropicales, Huracanes, Tormentas Locales Severas (Aero-avalanchas o Turbonadas y, Tornados), Sistemas frontales, etc.	Disposición a cielo abierto de residuos sin ningún tipo de contención o protección.	Afectaciones o colapso estructural parcial del VMC. Dispersión y movimiento de los RSM y otros materiales de la instalación. Daño a la integridad física y la salud de los trabajadores.	Sistema de vigilancia meteorológica. Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos hidrometeorológicos del municipio Cienfuegos. Modelaciones sobre fuertes vientos en la zona, realizados el Centro Meteorológico Provincial (CMP). Data Climática actualizada del CMP.	A		A		Se	Se recomienda la eliminación de la práctica de vertimiento a cielo abierto, considerando el alto riesgo que supone la dispersión de contaminantes en el entorno del vertedero durante la ocurrencia de eventos extremos, particularmente los fuertes vientos.	I

Fuente: Elaboración propia en base a (CIGET-IDIC, 2020).

Dónde:

- (1) Área o instalación objeto de análisis.
- (2) Se describe el peligro identificado para su análisis.
- (3) Se describe la manifestación del peligro identificado.
- (4) Razones de por qué el peligro postulado puede ocurrir. La lista de causas posibles incluye un número suficiente de causas las cuales permiten juzgar la credibilidad del peligro.
- (5) Se determinan las vulnerabilidades que presenta el área de la instalación, considerando su grado de exposición al peligro analizado.
- (6) Se describen las posibles consecuencias del riesgo postulado. Se evalúan sus efectos buscando el impacto del peor caso razonable asociado.



(7) Estudios preventivos, sistemas ingenieriles o controles administrativos implementados para prevenir las causas o mitigar las consecuencias.

(8) Probabilidad (P) de ocurrencia del escenario. (Baja: B / Media: M / Alta: A)

(9) Consecuencia. (Baja: B / Media: M / Alta: A)

(10) Magnitud de Riesgo (MR): Definido según la Matriz de Riesgos teniendo en cuenta la probabilidad y las consecuencias de ocurrencia del evento. (Severo: Se / Moderado: Mo / Tolerable: To)

(11) Recomendaciones y/o Acciones. Se señalan las acciones propuestas para corregir o mitigar los efectos del riesgo asociado en el análisis, o eliminar o minimizar las causas que pueden conducir a ello.

(12) Prioridad (Pd) en función de la magnitud del riesgo. (I/II/III)

Esta evaluación permitió identificar dieciocho riesgos, los que en su mayoría clasifican como severos o importantes, excepto los derivados de los peligros de sismo y carso que se catalogan de tolerables, así como la caída de rayos y accidentes de aeronaves en la zona, definidos como moderados. Los daños sistemáticos a los recursos naturales (agua, suelo, aire), las afectaciones a la salud y seguridad del trabajo, los incendios y los perjuicios a la economía local, se valoraron como los riesgos principales y de mayor incidencia.

En consecuencia, se pudo determinar que el alto número de riesgos evaluados, pone en tensión a los ecosistemas naturales y las zonas habitadas del entorno. Esta situación refleja un manejo inadecuado en el vertedero, mostrando el incumplimiento de las normas y regulaciones vigentes. Se identificaron como principales vulnerabilidades: falta de delimitación del sitio de vertimiento, exposición de residuos a cielo abierto, ausencia de control en las áreas de depósitos y mezcla de residuos de diferentes tipos antes y después de su ingreso al vertedero. A la par, se advierte la acumulación de residuos peligrosos y especiales, incluidos los sanitarios, así como la expansión sistemática del vertedero hacía zonas con potencial para otros usos, especialmente en zonas destinadas por la planificación territorial para la actividad industrial.

La evaluación de riesgos se fundamenta en investigaciones precedentes como el estudio de Bolaños et al. (2025), que constata la presencia de contaminación en el suelo del VMC. En estos datos se identifican concentraciones de elementos químicos que superan los niveles establecidos en guías internacionales (Buchman, 2008). Los elementos identificados con concentraciones de interés toxicológico en el suelo fueron: Pb, Zn, Ni y V, encontrando otros que superan los valores de fondo de dicha guía como el S, P, Sc y Mo. También fueron útiles para la valoración de riesgos los resultados de los biomonitoreos

de la calidad del aire obtenidos en el estudio de Morera et al. (2025). En este último, se determina que la mayor concentración de plomo en el aire de la ciudad de Cienfuegos se localiza en el área del vertedero municipal.

Por otro lado, mediante entrevistas efectuadas en la presente investigación, se verifica la afectación a la salud de los trabajadores y los habitantes de las comunidades contiguas, incluidos los recolectores informales que cotidianamente extraen materiales reciclables en este sitio, exponiéndose de manera directa al contacto con sustancias nocivas. Cabe agregar que, el depósito de residuos a cielo abierto pudiera representar una pérdida económica significativa al dejar de valorizar, desde la generación en origen hasta el destino en final en el vertedero, un volumen considerable de materiales que pueden ser utilizados como nuevas materias primas.

Adicionalmente, de forma transversal a todos los procesos en los que son identificados los riesgos, se muestran dificultades en la integración de los actores con roles y responsabilidades en todas las fases del manejo de los RSM. Aun cuando puede observarse en la Tabla 2 un elevado número de entidades que deben regular, controlar y fiscalizar el proceso de gestión de RSM, incluidas las etapas del manejo de los residuos, el número de riesgos encontrados evidencia un bajo nivel de interacción y coordinación entre las partes interesadas. Lo dicho, impide garantizar el cumplimiento de lo establecido en el cuerpo legal vigente que aborda esta temática. Tampoco permite la identificación y aplicación de soluciones efectivas para mitigar los riesgos asociados al vertedero municipal.

Es perentorio abordar este fallo en la integración de actores para resolver los desafíos asociados a la gestión de RSM, especialmente en la disposición final, donde los riesgos se tornan más complejos. La prueba de lo anterior, se avala en la existencia de mayor número de riesgos y problemas ambientales, que de oportunidades asociadas a la disposición de cielo abierto.

Por otro lado, la ausencia de un modelo para la correcta articulación de actores, impide aplicar criterios mínimamente rigurosos en cada una de las etapas del manejo de RSM. Esto limita por un lado el adecuado aprovechamiento de las oportunidades que brinda la gestión de residuos como recursos y, por otro lado, la mitigación de los riesgos advertidos. Además, impide la optimización de las cadenas de valor asociadas y generadas por el proceso. De tal modo, todo lo expuesto pone en evidencia la necesidad de crear un sistema de gestión integral de RSM, para la mejora de la gestión ambiental a nivel territorial.

Por último, se formulan un total de cuarenta y ocho medidas con la finalidad mitigar los riesgos que se producen en el destino final de los RSM. Algunas de estas iniciativas plantean aplicar estudios previos que permitan desarrollar un sistema de información para el uso integrado

de los datos, así como mejoras en la eficiencia de las rutas de recolección, como el desarrollado por Miranda & Figueredo (2023). Todo ello redundará en una mejor planificación y proyección estratégica del sector de saneamiento en el municipio de Cienfuegos. Así mismo, se propuso diseñar un modelo de articulación de las partes interesadas en la gestión de RSM, implementar mecanismos e infraestructuras para la clasificación en origen de los residuos, efectuar programas de formación para el personal de labor y campañas de concienciación en la comunidad, fortalecer los sistemas de monitoreo y evaluación ambiental para la recopilación y análisis de datos sobre la gestión de residuos, así como establecer un sistema robusto para la clasificación y manejo de los residuos especiales y peligrosos.

CONCLUSIONES

La evaluación de riesgos constituye una herramienta esencial para la gestión ambiental en vertederos. La metodología utilizada permite analizar los efectos adversos asociados a la inadecuada disposición de residuos sólidos municipales a cielo abierto. Como resultado, facilita la implementación de medidas correctivas destinadas a eliminar o mitigar los riesgos identificados, así como a conocer los incumplimientos de los requisitos legales pertinentes. Además, es crucial para establecer niveles de concertación e identificar responsabilidades entre los diversos actores involucrados en el proceso. Asimismo, promueve la colaboración interinstitucional y multidisciplinaria, elementos fundamentales para lograr una gestión ambiental integral y sostenible de los residuos sólidos municipales.

La determinación y evaluación de los numerosos riesgos ambientales y sanitarios derivados de las labores del VMC, frente a los escasos beneficios que se obtienen, demuestran el perjuicio ambiental del depósito de residuos sólidos municipales a cielo abierto. Lo anterior, justifica la implementación de acciones de respuesta. Particularmente, deberá considerarse la reubicación del vertedero donde se utilice un método seguro, alineado con las normativas ambientales y de saneamiento vigentes.

La adopción de políticas públicas basadas en los enfoques de economía circular, cadenas de valor, producciones más limpias y ciclo de vida, insuficientemente implementadas en la actualidad, son esenciales para la mejora de la gestión ambiental de los residuos sólidos municipales en Cienfuegos y la reducción de los riesgos asociados. Estas políticas requieren la participación de los actores de forma articulada y sistemática. En consecuencia, deben involucrarse nuevos actores económicos, cuyo talento de innovación y capacidad financiera pudieran dinamizar la gestión, garantizar la introducción de buenas prácticas y minimizar los impactos en el destino final. Igualmente, se debe sumar la participación ciudadana

y los medios de comunicación, sujetos protagonistas y transformadores de la gestión ambiental de los residuos sólidos municipales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araiza-Aguilar, J. A., Cram-Heydrich, S., Ruiz-Rivera, N., Oropeza-Orozco, O., Fernández-Lomelín, M. del P., & Rojas-Valencia, M. N. (2021). ¿Cuál es el significado de "riesgo" en el manejo de residuos sólidos municipales?. *Investigaciones Geográficas*, (105). <https://doi.org/10.14350/rig.60268>
- Barreiro, F., Alonso, T., Fabregat, G., Navarro, B., Sánchez, Y., González, J., & Pretel, R. (2007). *GEO-Cienfuegos Perspectivas del Medio Ambiente Urbano*. Proyecto Agenda 21 Local-GEO Cienfuegos. Oficina Regional para América Latina y el Caribe del PNUMA. Editorial Academia.
- Buchman, M. F. (2008). *Screening Quick Reference Tables*. NOAA OR&R Report 08-1. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327>
- Bolaños-Alvarez, Y., Alonso-Pérez, T., & Morera-Gómez, Y. (2025). *Soil composition of municipal urban solid waste landfill area in the province of Cienfuegos, Cuba*. Mendeley Data, V1. <https://doi.org/10.17632/rdf2pt22mb.1>
- Centro de Información y Gestión Tecnológica de Cienfuegos (CIGET-IDIC). (2020). *GM - 22 Revisión ambiental: Contexto de la organización. Los riesgos de la gestión de residuos*. IDIC <https://www.interempresas.net/Proteccion-laboral/Articulos/213083-Los-riesgos-de-la-gestion-de-residuos.html>
- Díaz-Bacallao, A., Monzón-Bruguera, Y., & Bolufé-Malboa, S. (2019). *Principales principios jurídicos ambientales para la conformación del marco jurídico de los residuos sólidos urbanos en Cuba*. Revista Universidad y Sociedad, 11(1), 392-401. <http://ref.scielo.org/y87wb8>
- Figueredo, J. A. Hernández. (2020). *Gestión de residuos sólidos como componente de estrategias de sostenibilidad socio-ambiental para el desarrollo local del municipio Centro Habana durante el período 2017-2019*. (Tesis de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO-Cuba), Universidad de La Habana. <https://accesoabierto.uh.cu/scriptorium/item/2130981#lg=1&slide=0>
- García-López, B. C., & Valdés-López, A. (2021). Caracterización de las fuentes de abasto de agua del municipio de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 463-472. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202021000200463&script=sci_arttext

- Gautam, K., Pandey, N., Yadav, D., Parthasarathi, R., Turner, A., Anbumani, S., & Jha, A. N. (2024). Ecotoxicological impacts of landfill sites: Towards risk assessment, mitigation policies, and the role of artificial intelligence. *Science of The Total Environment*, 927, 171804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171804>
- Goh, K. C., Kurniawan, T. A., Othman, M. H., Anouzla, A., Aziz, F., Ali, I., Casila, J. C., Khan, M. I., Zhang, D., Dai, W., Onn, C. W., & Seow, T. W. (2025). *Reinforcing urban resilience through sound landfill management: Addressing global climatic challenges with novel solutions*. Process Safety and Environmental Protection. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.106789>
- Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante, D., & Speck, N. C. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000100015&lng=es&tlng=es
- Instituto de Geología y Paleontología. (2007). *Mapa geológico digital de la República de Cuba escala 1:100 000*. La Habana, Cuba: Centro Nacional de Información Geológica. <https://dloc.com/es/AA00068229/00001/images>
- IUSS Working Group WRB. (2022). *World reference base for soil resources: International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps (4th ed.)*. International Union of Soil Sciences (IUSS). https://www.isric.org/sites/default/files WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf
- Khan, A. H., López-Maldonado, E. A., Khan, N. A., Villarreal-Gómez, L. J., Munshi, F. M., Alsabhan, A. H., & Perveen, K. (2022). *Current solid waste management strategies and energy recovery in developing countries: State-of-the-art review*. *Chemosphere*, 291(Part 3), 133088. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133088>
- Miranda-Pérez, R., & Figueredo-Díaz, R. (2023). *Optimización del ruteo de vehículos para la recolección de desechos sólidos municipales: Caso Cienfuegos*. *Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 8(1), 88-95. <http://rccd.ucf.edu.cu/index.php/rccd>
- Morera-Gómez, Y., Alonso Pérez, T., Bolaños Álvarez, Y., & Valle Pombroll, A. (2025). *Chemical composition of Tillandsia recurvata L. samples from an active air quality biomonitoring in the urban area of Cienfuegos (Cuba), 2021*. Mendeley Data, V1. <https://doi.org/10.17632/4559f6f7g9.1>
- Nguyen, N. T. T., Hoa, N. T., & Lien, N. T. (2025). *Innovative multi-criteria risk assessment framework for unsanitary, closed landfills: Integrating the fuzzy analytic hierarchy process with a weighted geometric mean approach*. *Science of The Total Environment*, 959, 178245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178245>
- Payyappilly, A. P., Babu, P., & Nair, M. R. (2025). Distance and direction matters: Risk perception among residents around a dump yard in Kerala, India. *Risk Management and Healthcare Policy*, 18, 65-76. <https://doi.org/10.2147/RMHP.S491900>
- Pon, J., Zaffiro-Tacchetti, M. C., Fernández, M. A., Bravo-Arriagada, M., González, L., & Falkowski, V. (2021). *Línea de base coalición para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe*. UN Environment Document Repository. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34804/LACDUMSP.pdf>
- Saa-Castillo, Y., Vallejos-Romero, A., Rivera-Mercado, C., Zahn-Muñoz, C., & Moncada-Mansilla, E. (2024). Gestión de residuos, riesgos e impactos en islas: Una revisión de la literatura. *Fronteira Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 13(4), 318-338. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2024v13i4.p318-338>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018). *Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe*. © Shutterstock.com Oficina para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/26448>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024). *Perspectivas mundiales de gestión de residuos 2024: Más allá de una era de residuos: convertir la basura en un recurso*. Nairobi. <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>
- Viera-González, E. Y., Barcia-Sardiñas, S., Fuentes-Roque, L. B., Gómez-Díaz, D., & Mejías-Seibanes, L. (2024). Caracterización climática de la cuenca hidrográfica Damují. *Revista Cubana de Meteorología*, 30(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-08802024000200009&lng=es&tlng=es