





Artículo Original

# Sistema de indicadores para la evaluación ambiental de vertederos de relleno sanitarios

## System of indicators for the environmental evaluation of sanitary filler dumps

Rafael Jesús Peña Gutiérrez<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-0418-5319>, Lidia Esther Batista Vázquez<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-5022-4374>

### Resumen:

**Contexto:** Los vertederos de relleno sanitario están entre las soluciones más utilizadas en el manejo de los residuos, pero el incumplimiento de las especificaciones definidas para su funcionamiento y la carencia de indicadores ambientales, limitan su control y han favorecido al deterioro de los medios naturales y socioeconómicos.

**Objetivo:** El trabajo tiene como objetivo valorar un sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario que favorezca su operación y mantenimiento.

**Métodos:** Se emplean métodos teóricos y empíricos, como el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción, el método sistémico estructural y la revisión documental. Se emplea una matriz de Leopold modificada en la concepción del sistema de indicadores y estos se someten a la valoración de especialistas.

**Resultados:** Son identificadas las deficiencias en las etapas más importantes del ciclo de vida de los desechos y se ofrece un sistema integrado por 19 indicadores que se implementarán en dichas etapas, para su evaluación ambiental.

**Conclusiones:** El sistema de indicadores permitirá identificar las violaciones tanto sobre el comportamiento como sobre la situación medioambiental del área evaluada favoreciendo su manejo orientado a la optimización funcional de los vertederos.

**Palabras clave:** indicador ambiental, evaluación ambiental, vertedero de relleno sanitario.

### Abstract:

**Background:** Sanitary landfills are among the most used solutions in waste management, but non-compliance with the specifications defined for their operation and the lack of environmental indicators, limit their control and have favored the deterioration of natural environments and socioeconomic.

**Objective:** The objective of the work is to assess a system of indicators for the environmental evaluation of sanitary landfills that favors their operation and maintenance.

**Methods:** Theoretical and empirical methods are used, such as analysis and synthesis, induction and deduction, the structural systemic method and documentary review. A modified Leopold matrix is used in the conception of the indicator system and these are subject to evaluation by specialists.

**Results:** Deficiencies in the most important stages of the waste life cycle are identified and a system composed of 19 indicators is offered that will be implemented in these stages, for environmental evaluation.

**Conclusions:** The system of indicators will allow the identification of violations regarding both the behavior and the environmental situation of the evaluated area, favoring its management aimed at the functional optimization of the landfills.

**Keywords:** environmental indicator, environmental assessment, sanitary landfill.

### Historial del artículo

Recibido: 7 octubre 2023

Aceptado: 2 noviembre 2023

<sup>1</sup>Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

Email:

rafael.peña@uho.edu.cu

Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución NoComercial CompartirIgual (CC-BY-NC-SA) 4.0.



### Citación recomendada para este artículo:

Peña Gutiérrez, R. J y Batista Vázquez, L. E. (2023). Sistema de indicadores para la evaluación ambiental de vertederos de relleno sanitarios. *Monteverdia*, 16 (2), 42-48. Recuperado de: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/xxxx>

## Introducción

Con la finalidad de reducir los efectos negativos de la acumulación de los residuos en las sociedades producto a su desarrollo en ascenso, en ciudades como Estados Unidos estos se comenzaron a enterrar a diario. Así surge el concepto de lo que posteriormente sería denominado vertedero de relleno sanitario, denominado de esta forma por primera vez en dicho

país hacia 1930 (Lee y Jones-Lee, 2004).

La Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE) lo define posteriormente como el método para darle un destino final y seguro a los residuos y así comienza la aplicación de técnicas de ingeniería sanitaria que propician su aislamiento para evitar la contaminación (Garrido, 2008). Esta técnica es muy utilizada en la región de América Latina pues posibilita de

recuperación de áreas ambientalmente degradadas. Sin embargo, la mayoría de los sitios definidos para trabajar como tal no funcionan adecuadamente, lo que limita la solución del problema solamente con mayores inversiones y equipamiento.

Con el fin de trabajar en este sentido se trata por primera vez el término de evaluación ambiental (EA desde este momento) en el fin de los años 60 en Estados Unidos. De esta forma se introducen las primeras formas de control de las interacciones de las intervenciones humanas con el ambiente, ya sea en forma directa o indirecta. Todo esto con la intención de reducir, mitigar, corregir y compensar los impactos mediante instrumentos (parámetros o indicadores) y procedimientos dirigidos a prever y evaluar las consecuencias de dichas intervenciones.

Muchas han sido las investigaciones dedicadas a la EA de rellenos sanitarios en las que se han tomado en cuenta sistemas de indicadores; como lo han sido las llevadas a cabo por Rodríguez (2008), Mosquera, Canchingre y Morales (2014), Bau-Satula, Ulloa-Carcasés y Gola-Cahimba (2017), y Antunes e Imaña (2018). Estas ratifican que en el mundo actual son comunes los problemas con respecto a la EA de los vertederos de relleno sanitario (VRS a partir de aquí) a través de indicadores:

- Existen deficiencias de lineamientos técnicos básicos que planteen dichos indicadores por lo que no se puede lograr una situación más favorable y demuestra la mala gestión de las autoridades encargadas.
- Las normas existentes para la EA no están concebidas en su mayoría para el control particular de sitios de disposición final y aquellas que contemplan indicadores ambientales son de hace 10 años o más, tomando el riesgo de no contemplar parámetros y valores más actualizados.
- Para la EA a través de indicadores físico-químicos es imprescindible contar con datos fiables que demandan servicios de laboratorio especializados a los que no siempre es posible acceder.
- La información disponible en cuanto a los vertederos de relleno sanitario es escasa o está incompleta y desactualizada, por lo que no hay datos confiables, precisos y suficientes. También se enfrenta la problemática de que cada sitio de disposición de residuos es diferente, y por lo tanto sus componentes varían de acuerdo a las condiciones locales, dificultando así, la estandarización de herramientas que

sean aplicables y flexibles en diversos casos (Turcott, 2018).

En este marco surge la presente investigación, dirigida a crear un conjunto de indicadores ambientales aplicables a los VRS, que permitan obtener resultados confiables que favorezcan la toma de decisiones oportunas para minimizar las afectaciones a los sistemas natural y socioeconómico. Como problema científico de la investigación se plantea que: las limitaciones en la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario, no favorecen su operación y mantenimiento y alteran al sistema ambiental. La hipótesis sugerida es: Si se diseña un sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario se podrá favorecer su operación y mantenimiento para minimizar las afectaciones a los sistemas natural y socioeconómico.

Como objetivo general se propone valorar un sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario que favorezca su operación y mantenimiento para minimizar las afectaciones a los sistemas natural y socioeconómico.

Para elaborar el sistema de indicadores ambientales que aporta la presente investigación, se partirá de la concepción de que este constituirá la herramienta para desarrollar tanto la evaluación ambiental estratégica (EAE de ahora en adelante) como la evaluación de impacto ambiental (EIA en el resto del texto) en los VRS. Dicha evaluación será aplicada solo a las etapas de construcción, operación y cierre del vertedero al concluirse que son estas las que mayores impactos generan a los medios naturales y socioeconómicos. La medición de estos indicadores se realizará a través de una matriz de Leopold modificada de acuerdo a las necesidades específicas de la investigación. Se incorporarán tanto indicadores de comportamiento como de situación medioambiental. El sistema de indicadores propuesto se definió de manera que pueda ser aplicado en cualquier región.

La actualidad del tema de investigación radica en que la problemática abordada responde a las tareas asignadas por el Plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático aprobado en Cuba en el 2017 (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, 2017). Además, toma en cuenta los objetivos 6, 11 y 12 de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2016).

## Materiales y métodos

En el presente estudio se parte de una búsqueda bibliográfica referida a los campos relacionados con la evaluación ambiental y el manejo de desechos sólidos. El empleo de métodos teóricos, como el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción, así como el método sistémico estructural-funcional, sustentados en la información bibliográfica y las experiencias de trabajo de los autores, hicieron posible la determinación de los indicadores que se proponen. En su concepción se ha empleado una matriz de Leopold modificada. Dicha propuesta fue sometida a una valoración mediante el criterio subjetivo de especialistas.

## Resultados y discusión

La EA se ha ampliado y transformado en el devenir de los años, lo que trae consigo que hayan surgido diferentes tipos ya sea para objetivos más específicos, o para abarcar más aspectos en los proyectos. A través de la búsqueda bibliográfica se pudieron identificar varios tipos como: EIA, la EAE, la evaluación de sustentabilidad (ES), el estudio de línea de base (ELB), la evaluación ambiental de sitios y organizaciones (EASO) y la evaluación de desempeño ambiental (EDA). En el caso del análisis del ciclo de vida (ACV), es un tipo de EA que dota de información a los que toman decisiones en distintos proyectos. Al seleccionar indicadores de desempeño ambiental y técnicas de medición, se trabaja en las distintas etapas del ciclo de vida de dichos proyectos (ISO 14040:2009).

Es importante destacar que, de acuerdo con la **Ley 21/2013**, se distinguen además dos tipos de EA, siendo estas la ordinaria (puede durar hasta cuatro meses y de ser necesario ampliarse tres meses más) y la simplificada (se prolonga tres meses desde la recepción de la solicitud de inicio y de toda la documentación asociada).

Teniendo en cuenta la clasificación de las diferentes evaluaciones ambientales que brindan las bibliografías se considera que en la presente investigación se aplica una combinación de la EAE con la EIA. Esto se debe a que primero se estudian las metodologías y normas dedicadas a la EA para poder demostrar sus deficiencias en vertederos de relleno sanitario y la ausencia de indicadores ambientales. Dicho de otra forma, se aplica una EAE que aumentará la eficacia del proceso de planeamiento, pero sin sustituir la EIA. Esta

última se realizará luego para demostrar la pertinencia de los aportes sugeridos y las deficiencias en el caso de estudio seleccionado. Es importante precisar que se apoyará esta evaluación en la matriz de Leopold debido a su fácil comprensión y uso para este tipo de estudios, y se le realizarán las adaptaciones pertinentes.

En el marco de la evaluación ambiental de VRS constan varios tipos de indicadores para medir el impacto de los vertederos. Estos indicadores varían de acuerdo al sitio de disposición analizado, las condiciones sociales, climáticas y geológicas, los datos que están disponibles para el estudio, los medios impactados que se deseen evaluar, la etapa del ciclo de vida en la que se encuentre la instalación.

Algunas propuestas de indicadores o sistemas de estos se aprecian en investigaciones como Portillo (2020), Urbina (2018) y en la ISO 14001:2004 donde se asumen tres categorías de indicadores para la evaluación de desempeño ambiental. Rodríguez y Moncada (2012) plantea otra familia de indicadores, clasificados en tres grupos:

-Comportamiento medioambiental: se dividen en las áreas de materiales, energía, infraestructura y transporte.

-Gestión medioambiental: son acciones organizativas utilizadas para minimizar el daño ocasionado. Aunque sirve para el control interno, no ofrece información válida sobre el estado del ambiental.

-Situación medioambiental: describen la calidad del ecosistema. En conexión con los objetivos de la política medioambiental.

Además, dentro de los sistemas de indicadores más completos y precisos se encuentran los del Decreto Alemán para vertederos y sitios de disposición final (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2021) y los parámetros propuestos por la corporación West Systems (2020).

El Decreto Alemán para vertederos y sitios de disposición final, brinda una variada gama de indicadores a estudiar en diferentes vertederos y requisitos en sus etapas de vida. Hace referencia a los indicadores de comportamiento medioambiental que serían aquellos referidos a las actividades que conforman las etapas del ciclo de vida de los vertederos. En cuanto a los indicadores de situación medioambiental se establecen como criterios de

clasificación en el caso de los residuos tratados mecánica y biológicamente.

Es preciso tener en cuenta que la definición de procedimientos estandarizados en el muestreo, análisis y procesamiento de parámetros químico-físicos para la caracterización de los VRS y el impacto ambiental, representa un paso indispensable para la tutela del ambiente y para lograr una gestión adecuada de los vertederos mismos.

Para este propósito, es indispensable según la metodología de la West Systems (2020):

- el reconocimiento y la cuantificación de las emisiones fugitivas del suelo, de los principales gases de efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>;
- la evaluación de la calidad del aire en la zona del vertedero y en los alrededores (receptores sensibles);
- el control de los lixiviados en aguas superficiales y profundas.

Para lograr esto, es necesario llevar a cabo un estudio detallado que utilice técnicas innovadoras para la medición de los principales parámetros de control y la elaboración de protocolos de monitoreo ambientales específicos para el sitio. Estas investigaciones contribuyen a la mejora de la gestión y a una mejor comprensión de los problemas de olor causados por presencia de VRS.

Se puede apreciar que hay distintos sistemas de indicadores, todos con el fin de buscar un mejor control de las acciones del ser humano sobre los ecosistemas. Estas familias de indicadores tienen carácter global, por lo que específicamente no están dirigidos a los vertederos, sino que se deben de adaptar a las necesidades de tales infraestructuras. Para la presente investigación se sugiere el uso de la clasificación de indicadores de comportamiento medioambiental y de situación medioambiental propuestos por Moncada y Rodríguez (2012). Se considera que aquí se reúnen todos los aspectos esenciales a controlar durante el ciclo de vida de un vertedero. Además, se adoptan las especificaciones del Decreto Alemán y de la West Systems (2020), ya que contienen por cada indicador establecido, los valores o rangos permitidos para cada clase de vertedero de acuerdo a su clasificación y los parámetros a medir en los residuos sólidos como líquidos.

Una vez definidas estas cuestiones se procede a

elaborar el sistema de indicadores para la evaluación ambiental de un VRS que se definió de manera que pueda ser aplicado en cualquier región. Permitirá evaluar y monitorear dichas instalaciones, identificar mejoras tecnológicas en los procesos y simular futuros escenarios, en resumen, constituirá una herramienta en la toma de decisiones con bases científicas.

Para definir los indicadores que conformarán el sistema se definirán primeramente los objetivos generales y específicos, referentes a la EIA del VRS en cuestión. Se tendrá como base la descripción, caracterización y análisis del ambiente (abiótico, biótico y socioeconómico) en el cual se desarrolló la obra. Se definirán los ecosistemas y sistemas sociales ambientalmente sensibles o de importancia ambiental, que serán afectados.

Luego se debe identificar, dimensionar y evaluar los impactos y riesgos ambientales que serán o fueron producidos por el proyecto y estos luego serán evaluados con sus respectivos indicadores. Resulta necesario evaluar y comparar el desempeño ambiental previsto por el proyecto, con respecto a los estándares de calidad establecidos en las normas ambientales nacionales vigentes y su compatibilidad con indicadores del Decreto alemán sobre vertederos y almacenamiento a largo plazo.

Para evaluar el proyecto y los impactos ambientales derivados de él y elaborar el SI, se utilizará una matriz de Leopold modificada. Para poder realizar adecuadamente esta evaluación, se deben establecer las variables analizadas, las cuales sirven para orientar la aproximación a la realidad estudiada. Las variables corresponden a los componentes ambientales en los cuales se centra el análisis de los VRS que para esta investigación se plantearon: aire, suelo, agua, paisaje, flora y fauna, salud y condiciones socioeconómicas. Dichos componentes ambientales se ubicarán en las filas de la matriz y van a ser evaluados teniendo en cuenta los indicadores ambientales que se ubicarán por las columnas. En la casilla donde se interseca un componente ambiental con un indicador se ubicarán los valores de los criterios de evaluación para lo cual se subdividirá la misma en tantas filas sea necesario. A los criterios de evaluación se hará referencia más adelante.

Las alteraciones que produzcan los componentes ambientales definidos se determinarán solo para tres de las etapas del ciclo de vida del vertedero: construcción,

operación y cierre, que también se ubicarán por las columnas de la matriz. Esta decisión se debe a que, a pesar de que el ciclo de vida de un VRS está compuesto por seis etapas, estas tres son las que más producen modificaciones en el terreno seleccionado, en zonas aledañas e las que más impactan sobre los componentes abióticos y biótico (Batista, 2021).

Una vez caracterizados e identificados los impactos, el paso siguiente será definir los indicadores ambientales a evaluar durante cada etapa del VRS:

Definición de los indicadores ambientales a evaluar durante la etapa de construcción:

- Preparación de la superficie del terreno: se chequeará que el área de deposición tenga la impermeabilidad requerida.
- Vallado periférico y servicios auxiliares: estos servicios consistirían en la existencia de una garita y baño con disponibilidad de agua, iluminación y algún medio de comunicación y cercado.
- Accesos a la instalación: se controla la existencia de caminos de acceso que permitan el paso de vehículos de recogida y descarga de residuos en cualquier época del año.
- Red de desviación de pluviales: las aguas de escorrentía superficiales no pueden ni deben entrar en el área de vertido; por ello, deben ser desviadas mediante la construcción de canales abiertos y rodeando toda el área de vertido.
- Sistemas de recogida y tratamiento de lixiviados y gases: se debe disponer una capa de drenaje que recoja los lixiviados y los canalice mediante una red de tuberías a un depósito de almacenamiento para su control y posterior tratamiento.

Definición de los indicadores ambientales a evaluar durante la etapa de operación:

- Control de las entradas y salidas: Es necesario controlar el origen y cantidad de los residuos.
- Medios de transportación: se refiere a aquellos medios que se utilizan para la recogida de los residuos, su capacidad, la cantidad de viajes diarios y procedencia.
- Clasificación de los residuos recibidos: esto permitirá el aprovechamiento de los mismos.
- Maquinarias existentes para el manejo de los residuos en la instalación.
- Disponibilidad de material para la preparación de trincheras y la cobertura final de los residuos: resulta

de vital importancia tener disponible el material adecuado.

- Medidas para minimizar el impacto visual y paisajístico durante la explotación: según lo establecido en la NC 135: 2002.
  - Preparación de la muestra de material para ensayos a nivel de laboratorio: se utiliza el método de cuarteo o de fragmentación. Se deben utilizar todos los medios que garanticen la efectividad de la toma de muestras y la protección de los operarios.
  - Análisis físico-químico de las muestras de residuos.
- Definición de los indicadores ambientales a evaluar durante la etapa de cierre:
- Plan de medidas de monitoreo y mitigación: se propone para aquellos factores que no estén rindiendo de la mejor forma.
  - Aprovechamiento de los residuos: se debe concluir si existe alguna posibilidad de aprovechamiento ya sea para fabricar compost u otras formas.
  - Posibilidades de re inserción: especificarlas en caso de existir, ya sea para cultivos, espacios públicos y recreativos.
  - Verificación el funcionamiento de los sistemas de recolección de gases y lixiviados.
  - Condiciones de la capa de re-cultivación: aquí se mide la calidad de la cobertura, tanto el modo en que se hizo como la calidad del material.
  - Labores de desmantelamiento, limpieza y colocación de capa de cobertura final: con esto se minimiza la presencia y proliferación de vectores, malos olores y se logra evitar incendios y presencia de humos.

La evaluación de impacto ambiental debe realizarse en forma independiente para cada indicador del proyecto y su respectivo componente ambiental afectado. Estos criterios utilizarán parámetros semi-cuantitativos, los cuales se medirán en escalas relativas. Lo siguiente, es una lista de los criterios utilizados para evaluar el impacto de esas acciones anteriores, su rango y calificación:

*Por su carácter (C)*

El carácter de un impacto ambiental determinado está dado por su condición de beneficioso respecto de la situación ambiental previa, tanto en los aspectos relacionados con el medio ambiente físico, como el biológico y social distinguiéndose:

- Positivos (+): impacto beneficioso, mejora la

situación del componente ambiental analizado;

-Negativos (-): impacto negativo, alteración o pérdida de calidad ambiental.

*Por la probabilidad de ocurrencia (O)*

La probabilidad puede ser definida como factibilidad de ocurrencia de un impacto durante la vida útil del proyecto considerando así los siguientes factores: poco probable (valor 1), probable (valor 2), muy probable (valor 3).

*Por la extensión (E)*

Se refiere a la influencia espacial de los efectos o al porcentaje de la comunidad o población afectada la cual podrá ser: puntual (valor 1), local (valor 2), regional (valor 3).

*Por su perturbación (P)*

Se relaciona con el grado de perturbación al medio la cual podrá ser: escasa (valor 1), regular (valor 2), importante (valor 3).

*Por su importancia (I)*

Se refiere a su importancia desde el punto de vista de los recursos naturales y la calidad ambiental la cual podrá ser: baja (valor 1), media (valor 2), alta (valor 3).

*Por el grado de reversibilidad (R)*

Se refiere a la posibilidad de un retorno al estado inicial sin intervención del hombre, una vez cesada la acción que le da origen donde podrán considerarse las siguientes categorías: reversible (valor 1), parcial (valor 2), irreversible (valor 3).

*Por su duración (D)*

Se relaciona con la duración a lo largo del tiempo. Incluyéndose toda la vida del proyecto, o durante su operación o construcción donde se clasificarán: corta (valor 1), mediana (valor 2), permanente (valor 3).

Para obtener el valor de impacto ambiental sobre cada uno de los componentes, se deberán valorar a través de la ecuación matemática:

$$VIA = C(P + O + I + E + D + R)$$

El resultado será el impacto total sobre dicho componente provocado ya sea por un indicador específico, por toda una etapa del ciclo de vida (al promediar el impacto total de todos los indicadores de la etapa), o por todas las etapas evaluadas (al promediar

el impacto total de todos los indicadores de todas las etapas).

El valor total obtenido para cada impacto oscilará entre 0 y 15, asumiendo valor positivo cuando el impacto es beneficioso y se clasifica en:

-Alto: mayor a 15

-Mediano: entre 9 y 15

-Bajo: menor a 9

Los valores negativos cuando reflejan alteraciones ambientales y es necesario tomar medidas de mitigación y se divide en:

-Severo: Mayor a -15

-Moderado: entre -9 y -15

-Compatible: menor a -9

Para que el trabajo sea más cómodo, se realizarán dos matrices, una para el análisis de los criterios y otra para el resultado del impacto total. La matriz en la que se analizarán los criterios se podrá dividir a su vez en dos, una para evaluar carácter, perturbación, ocurrencia e importancia en una, y en otra evaluar extensión, duración y reversibilidad. La interpretación de la matriz debe realizarse junto con la lectura de un texto explicativo.

Debe anotarse que los valores del SI, pretenden señalar un impacto ambiental por cada factor ambiental, pues, aunque hay excepciones, tales como la visibilidad del lugar, que valora este en su totalidad, la mayoría de los factores aprecian efectos que son independientes de los residuos vertidos. Se debe tener en cuenta que los valores de las escalas no tienen unidades e indican sólo valores relativos entre los diferentes lugares. Como consecuencia, el SI obtenidos da idea de situaciones relativas de impactos entre los diferentes vertederos.

*Valoración*

Para la valoración de la factibilidad de la propuesta, se somete al criterio de especialistas el sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario. Al seleccionar a los especialistas se tomó en cuenta la experiencia en la práctica sobre el tema que se consulta y que este fuera un posible usuario de la propuesta que se somete a su consideración.

Una vez seleccionados los expertos se les hizo llegar una encuesta en la que se les anexó la propuesta de

sistema de indicadores de la investigación y se les solicitó su valoración sobre la base de las dimensiones siguientes:

Dimensión 1: Esta dimensión dirigida a valorar la aplicabilidad del sistema de indicadores a través de tres criterios resultó ser un 82% aplicable para el criterio 1, un 64% aplicable para el criterio 2 y un 91% aplicable para el criterio 3, considerándose la propuesta del sistema de indicadores un 79% aplicable.

Dimensión 2: Esta dimensión dirigida a valorar la eficiencia del sistema de indicadores a través de tres criterios resultó ser un 100% eficiente para el criterio 1, un 82% eficiente para el criterio 2 y un 91% eficiente para el criterio 3, para un promedio de eficiencia del sistema de indicadores de un 91%.

Dimensión 3: Esta dimensión dirigida a valorar la optimización del sistema de indicadores a través de un solo criterio resultó ser un 91% óptima.

Estos resultados acerca de los aspectos que evalúan la propuesta en correspondencia con las dimensiones planteadas, permitieron conocer que los siete criterios evaluados por los expertos fueron considerados positivos.

### Conclusiones

El estudio de los antecedentes que han caracterizado la evolución de los sistemas de indicadores para evaluación ambiental de los vertederos permitió detectar carencias de información sobre la aplicación y seguimiento de los mismos. Actualmente, el inadecuado e irracional manejo de estas instalaciones implica un fuerte costo social, presupuestario y ambiental, tendencia que se potenciará en el futuro salvo que se produzca algún cambio.

El sistema de indicadores propuesto para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario, a través del análisis de tres de las etapas más destacadas de su ciclo de vida, y con la incorporación de los criterios de evaluación de la matriz de Leopold, quedó integrado por 19 indicadores que permitirán identificar las violaciones tanto sobre el comportamiento como sobre la situación medioambiental del área evaluada.

### Recomendaciones

Se sugiere a la Unidad Presupuestada de Servicios Comunes de Holguín velar por una supervisión constante a las instalaciones de vertederos de rellenos sanitarios para garantizar el cumplimiento de las

normas e indicadores, aplicar los resultados de la investigación a los vertederos de la provincia como parte de las actividades de vigilancia y control ambiental y continuar el tema de investigación con el análisis de la propuesta para su incorporación en las Normas Cubanas destinadas a los sitios de disposición de residuos.

### Financiamiento de la investigación

La investigación ha sido realizada bajo el amparo de la Universidad de Holguín.

### Contribución de los autores

Peña Gutiérrez: planeación de la investigación, búsqueda de información, análisis y elaboración de la propuesta de indicadores, implementación del proceso de valoración mediante criterio subjetivo de especialistas, redacción y revisión final del manuscrito.

Batista Vázquez: planeación de la investigación, análisis y elaboración de la propuesta de indicadores, redacción y revisión final del manuscrito.

### Conflictos de intereses

No se expresan conflictos de intereses.

### Referencias

- Antunes, S., e Imaña, E., (2018). Influencia del relleno sanitario de la ciudad de Goiânia sobre la agrupación de especies arbóreas en la Sabana brasileña. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15(37), 58-66. Recuperado de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/3596>
- Batista, V. (2021). *Procedimiento para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de Relleno Sanitario*. (Tesis de maestría). Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.
- Bau-Satula, Ulloa-Carcasés y Gola-Cahimba, (2017). *Evaluación ambiental del depósito de residuos sólidos de Katenguenha, Angola*.
- Biosfera Consultoría Medioambiental. (2021). *Asturias-España*. Recuperado de <https://biosfera.es/evaluacion-ambiental>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas.

- Garrido V. (2008) *Metodología de diagnóstico ambiental de vertederos, adaptación para su informatización utilizando técnicas difusas y su aplicación en vertederos de Andalucía*. Granada. Recuperado de <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle>.
- ISO 14040:2009. Publicada por la ISO en 2006. *Gestión Ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*.
- Lee G.F., Jones-Lee A. (2021). *Flawed Technology of Subtitle D Landfilling of Municipal Solid Waste*. Recuperado de <http://www.gfredlee.com>.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2017). *Enfrentamiento al cambio climático en la República de Cuba*. La Habana: Autor.
- Moncada S., y Rodríguez R., (2012). *Sistema de Indicadores para la Evaluación de la Aplicación del Sistema de Gestión Ambiental en Empresas Constructoras*. Ciencias Holguín. ISSN 1027-2127 1. Cuba.
- Mosquera Q., Canchingre B., Morales P. (2014). *Evaluación de los impactos ambientales generados por el vertedero de residuos sólidos del cantón Atacame, Ecuador*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2002). *NC 135:2002. Residuos sólidos urbanos. Disposición final. Requisitos higiénicos-sanitarios y ambientales*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2005). *NC ISO-14031: Gestión ambiental. Evaluación del Desempeño Ambiental-Directrices*.
- Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 14015: 2005 (Publicada por la ISO, 2001) *Gestión ambiental. Evaluación ambiental de sitios y organizaciones* (EASO) [ISO 14015:2001 (Traducción certificada), IDT]
- Portillo, R. (2020). *Indicadores ambientales: qué son, tipos y ejemplos*. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com>
- Rodríguez, J.A. (2008). *Diagnóstico ambiental cualitativo. Relleno sanitario municipalidad de Santa Rosa de Copán*.
- Turcott C. (2018). *Sistema de indicadores para la evaluación integral y control de la gestión de residuos municipales*. Santander.
- Urbina, M. O. (2018). *Gestión ambiental urbana del ciclo de vida de los residuos sólidos domiciliarios en espacios urbanos. Aplicación en la ciudad de Holguín*. (Tesis de doctorado). Universidad de la Habana, Cuba.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (2021) *Verordnung über Deponien und Langzeitlager 7. April 2009. die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. Juli 2021*. Recuperado de [https://www.gesetze-im-internet.de/depv\\_2009/DepV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/depv_2009/DepV.pdf)
- West Systems (2020). *Monitoreo Ambiental, Vertederos*. Recuperado de <https://www.westsystems.eu/es/monitoreo-ambiental/vertederos.html>