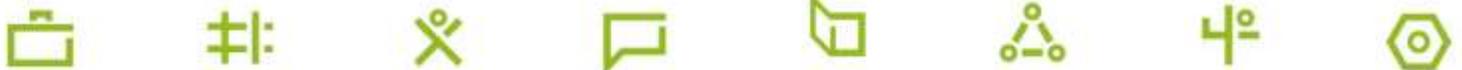


SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIOS.

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autor: Rafael Jesús Peña Gutiérrez

HOLGUÍN 2021



SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIOS.

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autor: Rafael Jesús Peña Gutiérrez

Tutor: MsC. Lidia Esther Batista Vázquez (P.I.)

HOLGUÍN 2021



PENSAMIENTO

“Hágase más racional la vida humana.

Aplíquese un orden económico internacional justo.

Utilícese toda la ciencia necesaria para un
desarrollo sostenible sin contaminación”.

Fidel Castro Ruz (1992), Cumbre de la Tierra, Rio de Janeiro



DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a mi mami Maria Elena que gracias a su amor insondeable logré llegar hasta aquí, que ha sido mi llamado en los momentos más duros, y a que siempre me ha motivado a seguir adelante y convertirme en un profesional. A ella mi gran refugio, mi amiga, que a pesar de todo me ha acompañado en este camino desde que era pequeño hasta ahora.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Ing. Lidia Esther Batista Vázquez, tutora de esta tesis, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en el seno de la Universidad de Holguín. Le agradezco la confianza depositada en mí, su preocupación, su apoyo y su continua orientación, y sobre todo, la excelente calidad humana y cariño dispensado a lo largo de todo el tiempo que hemos compartido de duro trabajo.

Quiero darles las gracias a mis padres, a todos mis amigos y profesores, por su ánimo continuo, por su inagotable paciencia, por su continua implicación, por creer en mí y sobretodo por las horas robadas.

Muchas gracias.



RESUMEN

La creación de vertederos de relleno sanitario es una de las soluciones más utilizadas a nivel mundial para darle un destino final a los residuos. Sin embargo, el cumplimiento de las especificaciones definidas para su funcionamiento, así como la carencia de indicadores ambientales limitan el control de las condiciones de los mismos y han dado lugar al deterioro de los medios naturales y socioeconómicos. Por tal razón se desarrolla una evaluación ambiental a través de un sistema de indicadores ambientales para dichos vertederos de manera que permita identificar las deficiencias en las etapas más importantes de su ciclo de vida. Se propone una matriz de Leopold modificada para la aplicación de un total de 19 indicadores en dichas etapas. La solución del problema de la investigación y el cumplimiento del objetivo fue posible con la implementación de un sistema de métodos de la investigación científica de naturaleza teórica y empírica.



ABSTRACT

The creation of sanitary landfill dumps is one of the solutions more used at world level to give a final destination to the residuals. However, the execution of the defined specifications for their operation, as well as the lack of environmental indicators limits the control of the conditions of the same ones and they have given place to the deterioration of the natural and socioeconomic means. For such a reason an environmental evaluation is developed through a system of environmental indicators for this landfills so that it allows to identify the deficiencies in the most important stages in its cycle of life. It intends a womb of Leopold modified for the application of 19 indicators in these stages. The solution of the problem of the investigation and the execution of the objective was possible with the implementation of a system of methods of the scientific investigation of theoretical and empiric nature.



ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICO METODOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO.....	7
1.1. La evaluación ambiental. Concepto y caracterización general.....	7
1.1.1. La evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario	10
1.2 Sistema de indicadores para la evaluación ambiental	18
1.3 Sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de rellenos sanitarios	22
1.3.1 Experiencias en el uso de sistemas de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de rellenos sanitarios	26
Conclusiones del capítulo	30
CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS VERTEDERO DE RELLENO SANITARIO ..	31
2.1 Concepciones metodológicas para la elaboración del sistema de indicadores	31
2.2 Sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario.....	32
2.3 Valoración de la factibilidad de la propuesta	44
Conclusiones del capítulo	47
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	55



INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes, el hombre ha utilizado los recursos naturales para asegurar su supervivencia y crear objetos que le ayudaran a prosperar dentro de un medio difícil y hostil. Entre estos recursos, los más importantes eran alimentos y madera que, en las primeras épocas, generaban unos restos que se integraban fácilmente en el medio sin afectarlo (Garrido, 2008).

Con el paso del tiempo, la humanidad evolucionó de forma exponencial. Se produjo un gran crecimiento de los núcleos urbanos ligado a la extracción y transformación de elementos naturales. Como consecuencia, en estas sociedades se comenzaron a tener dificultades para eliminar los residuos producidos. En la Edad Media, la mayoría de estos vertidos eran depositados en las calles, lo que originaba problemas de roedores y pulgas, que proliferaban la transmisión de enfermedades como la peste bubónica (Garrido, 2008).

Con la finalidad de reducir los efectos negativos de la acumulación de dichos residuos, en varias ciudades de Estados Unidos se comenzaron a enterrar a diario. Así se crea el concepto de lo que posteriormente sería denominado vertedero de relleno sanitario, esta denominación se utilizó por primera vez en dicho país hacia 1930 (Lee y Jones-Lee, 2004).

Posteriormente la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE) define en 1950 el método de relleno sanitario como destino final y seguro para los residuos y 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 evidencia una problemática que no podrá resolverse solamente con mayores inversiones y equipamiento.

Con el fin de trabajar en base a esta problemática se trata por primera vez el término de Evaluación Ambiental (EA) 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.

Sin embargo, la información disponible en el sector de 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).

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 ha sido el diagnóstico ambiental cualitativo en la municipalidad de Santa Rosa de Copan, Honduras, realizada por Rodríguez (2008) en el vertedero de esta localidad. En este estudio se hace un diagnóstico general del área que impacta y del mismo relleno. Los indicadores utilizados para la evaluación de los impactos fueron: los residuos líquidos y sólidos, las emisiones atmosféricas y el ruido, ofreciendo un grupo de aspectos a medir.

Mosquera Quintero, Canchingre Bone y Morales Pérez (2014) realizaron una investigación sobre la realidad del cantón Atacame en Ecuador, en la provincia de Esmeraldas en el relleno de esta localidad. Para la evaluación ambiental se utilizaron los métodos: lista de chequeo, la matriz causa–efecto y la matriz de Leopold. Evaluaron las actividades y los componentes ambientales afectados por los impactos de estas prácticas, los cuales son plasmados en la matriz. Los resultados alcanzados demostraron que los impactos provocados por el vertedero clasifican como negativos y que exige implementar un sistema de gestión para mitigar los daños provocados.



En Angola en la localidad de Huambo, se realizó la evaluación de los efectos que produce sobre el medio ambiente el vertedero de Katenguenha. Se aplicó el método de criterios relevantes integrados (CRI) de Buroz (1990). Se asignaron valores a los efectos adversos relevantes de acuerdo a los indicadores de extensión, intensidad, duración, reversibilidad y riesgo (Bau-Satula, Ulloa-Carcasés y Gola-Cahimba, 2017). Alcaide Orpí et al. (2001), presentan una investigación dedicada a la aplicación de indicadores ambientales como medida de la calidad ambiental del territorio del municipio Bauta, en La Habana, Cuba. Algunos indicadores utilizados fueron grado de naturalidad, fuente, sumidero y soporte/servicio. Se concluyó que el territorio está sometido a importantes cambios que repercuten de forma negativa en el medio ambiente, por lo que se recomienda que se revisen las actuales políticas ambientales. No obstante, el estudio no está dedicado exactamente a los sitios de disposición final por lo que los indicadores propuestos no están pensados para estos tipos de instalación.

Por su parte, Columbié (2012), evaluó desde el punto de vista geotécnico el relleno sanitario Alcides Pino del municipio de Holguín, Cuba. Los resultados obtenidos mostraron el incumplimiento de los requisitos higiénico-sanitarios y ambientales establecidos en la NC 135: 2002 pero la solución propuesta responde fundamentalmente a criterios geotécnicos, y no a otras causas que repercuten en el medio ambiente directamente. Además, no incluye la medición de ningún indicador ambiental.

Luego de estudiar varias experiencias se puede contemplar que son comunes los problemas en el mundo con respecto a la EA de los vertederos de relleno sanitario 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 evaluación ambiental 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. Además, 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.

En este marco surge el presente trabajo de diploma, dirigido a crear un conjunto de indicadores ambientales aplicables a los vertederos de relleno sanitario, que permitan obtener resultados confiables que favorezcan la toma de decisiones oportunas para minimizar las afectaciones a los sistemas natural y socioeconómico. Por tal razón se evidencia una **contradicción** entre la necesidad de minimizar los impactos ocasionados por los vertederos de relleno sanitario y la no existencia de herramientas que permitan planificar las labores de monitoreo, vigilancia y control.

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.

Se define como **objeto de investigación** la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario. El **campo de acción** es el sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

Como **objetivo general** se propone: diseñar 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.

Los **objetivos específicos** definidos fueron:

1. Establecer los fundamentos teórico - metodológicos de los sistemas de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario.
2. Diagnosticar los sistemas de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario en el mundo, Cuba y Holguín.
3. Diseñar un sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario.



4. Valorar la factibilidad de la propuesta del sistema de indicadores.

La **hipótesis** sugerida en la investigación 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.

Los **métodos de investigación** empleados fueron:

Métodos teóricos:

- Análisis y síntesis: para analizar la información teórica y metodológica obtenida a partir de las diferentes fuentes bibliográficas consultadas y procesarlas.
- Histórico - lógico: para conocer la historia y evolución que ha caracterizado el manejo de los vertederos, y cómo se ha comportado a través del tiempo su operación y mantenimiento, así como las experiencias de la aplicación de indicadores para la evaluación ambiental que estos generan en el mundo, Cuba y Holguín.
- Hipotético - deductivo: para realizar una elaboración lo más precisa posible de la hipótesis de la investigación, que permita una relación adecuada entre la variable dependiente y la independiente de la misma, así como en la concepción de los objetivos específicos que orientan la lógica del proceso investigativo.
- Inductivo - deductivo: para analizar las carencias del proceso de evaluación ambiental de los vertederos y proponer un sistema de indicadores para minimizar las afectaciones a las aguas subterráneas y superficiales, al suelo y al aire y por tanto a la calidad de vida de la población.

Métodos empíricos:

- Entrevistas: para realizar la caracterización del objeto y campo, realizar un análisis histórico del mismo y para la validación de la propuesta.



- Consultas a directivos: para enriquecer y verificar la calidad de los resultados obtenidos durante la investigación.
- Encuestas a factores claves del entorno.
- Observación científica.
- Recopilación de datos: está vinculada con la naturaleza exploratoria de la investigación y el tipo de información requerida para evaluar la operación y mantenimiento de los vertederos.

Esta investigación tiene como **aporte** a 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. Su **novedad científica** radica en la incorporación de indicadores ambientales en la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario que permita la toma de decisiones oportunas.

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, conocido como “Tarea Vida”, priorizada por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. Además, toma en cuenta los objetivos 6, 11 y 12 de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015. La problemática abordada responde a una de las líneas de investigación priorizadas por el Ministerio de la Educación en Cuba, el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente y el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín. Esta investigación se **estructura** en dos capítulos. En el primero se evidencia el marco teórico referencial de los sistemas de indicadores para la evaluación ambiental de vertederos de relleno sanitario. En el segundo se realiza el diseño de un sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario y su valoración a partir de criterios de especialistas. De igual manera se incorporan las conclusiones, recomendaciones y bibliografías.



CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICO METODOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO

La evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario es uno de los problemas emergentes que requieren una mejor comprensión y actuación para prevenir los daños a la salud y al medio ambiente. Se reconoce que el tratamiento de estas instalaciones es inadecuado, porque la cultura de la prevención y minimización, de la reutilización, el reciclaje, la recuperación energética y disposición de los residuos, no se ajusta al nivel de deterioro del medio ambiente.

Una alternativa para minimizar los efectos negativos provocados por este manejo inadecuado es la utilización de sistemas de indicadores para la evaluación de los impactos ambientales (IA). Así se contribuye a un desarrollo urbano ambientalmente sostenible, y toda consecuencia ambiental que sea identificada, puede ser corregida y en un corto y mediano plazo podría ser evitada.

1.1. La evaluación ambiental. Concepto y caracterización general

Está claro que para contribuir al desarrollo sostenible del mundo es preciso plantearse nuevas estrategias que aseguren que las condiciones y oportunidades de vida sean las más adecuadas para la población. La EA es uno de los instrumentos que permite la conservación de los ecosistemas frágiles y aporta a la conservación de un clima viable (Silva, 2012).

De acuerdo a Salas (2020), la EA es el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, plan u obra, causan sobre el ecosistema. Integra sistemas físicos, biológicos, humanos y sus interrelaciones y evalúa los efectos sobre el ser humano, la fauna y la flora, el suelo, agua, aire, clima, paisaje, bienes materiales y el patrimonio cultural y las interacciones entre los factores anteriores.



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: la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), siendo de los más conocidos.

Silva (2012), refiere que el éxito de la EIA radica en constituir un equipo multidisciplinar integrado por especialistas en cada uno de los factores ambientales a contemplar en cada proyecto específico. Uno de los métodos para su desarrollo es la matriz de Leopold, la cual contiene información esencial para evaluar el impacto ambiental de un proyecto. Permite conocer la relación de causa y efecto ambiental de algún proyecto que se llevará a la práctica. En las filas se enumeran los factores ambientales y en las columnas se colocan los indicadores y acciones que puedan ejercer algún efecto en los factores. De la intersección resultante entre filas y columnas se establece una valoración, la que más se aproxime al efecto que puede causar.

Dentro de las cualidades de la aplicación de la matriz de Leopold se tienen en cuenta el bajo costo, sencillez de aplicación, fácil comprensión, posibilidad de expresión gráfica. Además, es aplicable a todo tipo de proyecto que afecte al medioambiente muestra los efectos en todo el proyecto en su conjunto y posibilita plantear distintas alternativas dentro del mismo. Asimismo, existen algunos inconvenientes en la aplicación de la matriz de Leopold como lo es la subjetividad en la asignación de valoraciones, ya que son datos arbitrarios, por esta razón se hace imprescindible del apoyo de un experto.

La EIA a una experiencia estratégica, al ser incorporado a las políticas, planes y programas, se convierte en otro tipo de evaluación: la EAE. En la EAE se tiene un esquema de investigación ambiental, social y económica donde se incorporan elementos como: una línea base futura, análisis de los impactos acumulados, la búsqueda de alternativas y el seguimiento de proyecto (Silva, 2012). Algunas fuentes



consideran a la EAE como un instrumento menos comprensivo y oneroso, pero a pesar de estas opiniones ha demostrado ser un sistema abarcador.

Además, se habla de la Evaluación de sustentabilidad (ES) que asegura que los tomadores de decisiones tengan la mejor información de sustentabilidad del plan. También el Estudio de Línea de Base (ELB) que consiste en un diagnóstico para determinar las condiciones ambientales de un área específica.

Existen otras como la Evaluación Ambiental de Sitios y Organizaciones (EASO), que permite identificar las consecuencias ambientales producto a actividades de sitios como resultado de acciones pasadas, actuales y esperadas en un futuro (ISO 14015:2005). Por otra parte, la Evaluación de Desempeño Ambiental (EDA) es el resultado medible del sistema de gestión ambiental, controla aspectos ambientales desde una base política con sus objetivos y metas (ISO 14031). 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 mas) y la simplificada (se prolonga tres meses desde la recepción de la solicitud de inicio y de toda la documentación asociada). La diferencia entre ambas se basa fundamentalmente en el tiempo que duran los procedimientos y en la complejidad de los informes que se evalúan en cada una (<https://biosfera.es/evaluacion-ambiental/>, consultado en marzo del 2021).

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.

1.1.1. La evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario

Según lo establecido en el Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos Peruana del 2008, define como vertedero de relleno sanitario (VRS), a una infraestructura de disposición final, debidamente equipada y operada, que permite disponer de forma sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos. Eguizabal (s.f), agrega que es una técnica de disposición final de residuos sólidos en el suelo, mediante el uso de principios de ingeniería para confinarlos. Ello se realiza en un área previamente implementada con los dispositivos para el control y manejo de las emisiones (líquidos y gases) con la finalidad de prevenir los riesgos a la salud pública y deterioro de la calidad ambiental.

Los vertederos han estado ligados, y siguen estándolo en la actualidad, a múltiples problemas ambientales que comienzan con su propia localización, pues una mala ubicación puede dañar el ecosistema e impactar a la salud pública y estética de las poblaciones aledañas (Burquin, 2018). Por lo tanto, para un adecuado manejo de un relleno sanitario, se requiere del desarrollo exitoso de las etapas de su ciclo de vida, este está comprendido por seis etapas mencionadas en orden por Batista (2021):

-Selección del sitio: Es el análisis técnico a los aspectos, topográficos, hidrogeológicos, geofísicos, geológicos, meteorológicos, de vulnerabilidad a desastres naturales, preservación de áreas naturales y del patrimonio arqueológico.



-Diseño y construcción: se acondicionará el área conforme a la infraestructura básica como cercado, excavaciones, aislamiento de bases y taludes, sistema de drenaje y manejo de gases, tipos de residuos que se aceptarán, la capacidad de los módulos.

-Operación: comprende la vigilancia, el pesaje de los residuos, monitoreo del aire y los lixiviados, descarga, colocación, compactación y cubierta diario de residuos.

-Cierre: Se diseñará el cierre del VRS para cuando finalice su vida útil, se realizan labores de desmantelamiento, limpieza y colocación de capa de cobertura final de forma tal que sea apto para las posterior arbolización.

-Post cierre: construcción de obras destinadas a mantener los residuos aislados. Se prepararán las obras destinadas al monitoreo de los lixiviados y gases. Se prepara la superficie para realizar las futuras obras de reinsertión.

- Reinsertión: Se realizan los trabajos destinados a reincorporar a su entorno el relleno sanitario ya sellado. Se realizarán levantamientos topográfico del terreno, control de asentamientos y derrumbes, fugas del gas del relleno y de lixiviados, estado de las plantas sobre el cuerpo del relleno, en los taludes y alrededor.

Es preciso realizar evaluaciones ambientales como estrategia para la identificación de los impactos que pueden producirse durante todas las fases que conforman el ciclo de vida de los VRS. Estas evaluaciones son diversas y cada una aborda metodologías diferentes. Su utilización depende del tipo de obra, las normas vigentes o los aspectos sociales y medioambientales que pudieran ser afectados.

La EIA es uno de estos tipos de evaluaciones, y de acuerdo a lo establecido en el artículo 10º de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) de Perú debe contener:

a) Una descripción de la acción propuesta y los antecedentes de su área de influencia.

b) La identificación y caracterización de los impactos ambientales durante todo el ciclo del proyecto (implementación, operación, cierre y post cierre).



- c) La estrategia de manejo ambiental o la definición de metas ambientales incluyendo según el caso, el plan de manejo, plan de contingencias, plan de compensación y el plan de cierre, post cierre y reincorporación.
- d) El plan de participación ciudadana de parte del mismo proponente.
- e) Los planes de seguimiento y control.
- f) Un resumen ejecutivo de fácil comprensión.

Esta ley se considera abarcadora, al tener presente las fases de vida de los rellenos sanitarios y enfatizar en la necesidad de los controles ambientales y el uso de matrices de doble entrada para la EA integral, aunque no define que parámetros de laboratorio se deben medir.

Otras de las EA es la EAE ya tratada en el epígrafe anterior, que de acuerdo a Bergman (2012), consta en general de 4 fases, que pueden desarrollarse de manera secuencial o paralela cuando sea posible y siempre ligada a un proceso participativo, estas son:

- 1) Inicio: se basa en enfocar adecuadamente el proceso de la EAE en base al contexto institucional, ambiental y social que se presente.
- 2) Diagnóstico estratégico: se orienta a generar una comprensión integral de los sistemas ambientales y sociales potencialmente afectados.
- 3) Evaluación de alternativas: el principal objetivo en esta fase es realizar la evaluación, propiamente dicha, de la planificación propuesta, incorporando los objetivos estratégicos y los factores ambientales clave en el análisis.
- 4) Informe y plan de seguimiento: se termina de elaborar el informe de la EAE. El objetivo, es integrar los resultados que se fueron obteniendo a lo largo de la evaluación, así como el monitoreo y seguimiento de las directrices de la EAE.

Esta evaluación es integral y lo suficientemente eficaz para una adecuada EA, ya que es posible adaptarla a los VRS, aunque no consta indicadores para el monitoreo de este tipo de instalación.



En el caso del ACV de la norma ISO 14040:2009, el procedimiento se conforma por cuatro fases a estudiar que son definición del objetivo y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto ambiental e interpretación. Sin embargo, no se puede aplicar en todas las situaciones, pues no considera asuntos sociales o económicos de un proyecto. Carece de indicadores y metodologías específicas a seguir en cada fase y no predice impactos ambientales. Por lo tanto, no es una evaluación completa de todos los asuntos ambientales. En la fase de evaluación del impacto ambiental, no siempre puede demostrar diferencias significativas entre las categorías de impacto y los resultados de sus indicadores correspondientes para diferentes alternativas de los sistemas del producto.

La norma ISO 14031:2005, relacionada a la EDA, plantea que, con el uso de indicadores, proporciona información comparando el desempeño ambiental a través del tiempo de una organización. La metodología que usa es la siguiente:

- Planificación: de la EDA y la selección de los indicadores a utilizar.
- Uso de datos e información: recopilar la información necesaria para los indicadores.
- Verificar y actuar

Como indica su nombre, esta evaluación va dirigida al desempeño ambiental de una organización, política o programa, y precisamente, al concentrarse en describir solo el desempeño ambiental, da margen a que no se contemplen acciones de impacto ambiental, pues para esto sugiere la utilización adicional de otros métodos evaluación e indicadores.

La ISO 14015:2005, por su parte, proporciona el procedimiento para realizar la EASO, esta puede usarse por todas las organizaciones, incluyendo las pequeñas y medianas empresas que operen en cualquier parte del mundo. Esta Norma Internacional acoge las funciones y responsabilidades de las partes involucradas en est tipo de evaluación, y plantea que las etapas que la conforman son:

- Planificación que la integra los objetivos, alcance y criterios de la evaluación.
- Plan de evaluación.



- Recolección y validación de la información.
- Evaluación.
- Informe

Esta Norma no proporciona una orientación sobre cómo remediar problemas ambientalmente del sitio. No está prevista para utilizarla como una norma de especificaciones de una EA porque solo persigue extraer conclusiones relacionadas con las consecuencias económicas y comerciales asociadas con los aspectos y asuntos ambientales. Para esto propone también el uso de otros procedimientos.

Tal y como se ha visto hasta ahora, las EA juegan un papel muy importante en el desempeño ambiental de un VRS. Si bien son una herramienta medioambiental que ha surgido con gran fuerza, hay muchas brechas. Esto se debe a la muy poca información al respecto, investigaciones que no abarcan lo necesario o son muy generales, despreocupación por las instituciones gubernamentales y falta de indicadores para la medición. No obstante, cabe destacar que todas concuerdan en la necesidad de velar por la protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre. Se conoció cómo trabajan diferentes tipos de sistemas para la evaluación, y que la eficacia de todos radica en hacer un estudio profundo y con calidad para así lograr un diagnóstico completo y real y dar soluciones precisas. Se recalca que para la presente investigación se sugiere el uso de la EIA o la EAE para evaluaciones ambientales para rellenos sanitarios por ser las que más se adecuan a este tipo de obras, por tener métodos completos que se adaptan a todo el del ciclo de vida de los mismos.

1.1.2 Normativa para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario

En la Cumbre de París de julio de 1972, los jefes de Estado y de Gobierno de Europa reconocieron que, en el contexto de la expansión económica y la mejora de la calidad de vida, debían prestarse una atención especial al entorno (El portal de la Unión



Europea, 1995). Entre los años setenta y ochenta, este movimiento de protección se extendió a países de Latinoamérica y no ha parado de perfeccionarse y de implementarse.

El Decreto Legislativo N.36/2003 (italiano) establece los requisitos técnicos y operativos para los vertederos y está orientado a la adopción de procedimientos y metodologías que reduzcan el impacto ambiental tanto como sea posible.

Para el monitoreo de las matrices ambientales, se remite al artículo 8, que prevé la redacción del Plan de Supervisión y Control (PSC) en el que deben detallarse los parámetros a ser monitoreados, la periodicidad de los controles y las metodologías a utilizar. En el apartado 5 del Anexo 2 se describen los parámetros ambientales que deben controlarse como las aguas subterráneas, lixiviados, aguas de drenaje superficial, gases de descarga, la calidad del aire, parámetros climáticos y el estado del cuerpo del vertedero.

En España con la Ley 2/2020 de Castilla-La Mancha (2020) sobre EA, actualiza este procedimiento después de más de veinticinco años de aplicación. En sus tres títulos establece la regulación de la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente. Busca garantizar en todo el territorio de Castilla-La Mancha un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible.

También en España, el 8 de julio se publicó el Real Decreto 646/2020, por el que se regula la eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos. Esta nueva normativa deroga a sus anteriores, impulsando el cambio hacia una economía circular. Dicho decreto refuerza la obligación de tratamiento previo de los residuos. Las normas aprobadas por la Comunidad Europea establecen las pautas para que los estados miembros sigan.

Por su parte, países de otras regiones del mundo como Chile, Perú, Colombia, México, han actualizado las regulaciones de EA, lo que ha conllevado a amplios procesos de revisión de sus marcos normativos. Los principales avances se dan



especialmente en temáticas asociadas a la disponibilidad y acceso a la información pública, la participación pública en los procedimientos de dicha evaluación y la gestión ambiental adaptativa.

Quiroga (2007), presenta en el documento Serie Manuales N° 55, las principales iniciativas de diseño e implementación de indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Aquí se recogen una serie de indicadores para la EA, que miden las emisiones a la atmósfera, las extracciones y afectaciones al suelo, la cubierta boscosa, las aguas, residuos y otros. Además de expone ejemplos de indicadores de países europeos; pero a pesar de ser bastante detallados, descuida indicadores para la EA en VRS, este solo se menciona dos veces de manera muy escueta, sin ninguna información por la cual guiarse.

En Chile en el marco del Sistema Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el concepto de normativa de carácter ambiental, comprende aquellas normas cuyo objetivo es asegurar la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, e imponen una obligación o exigencia cuyo cumplimiento debe ser acreditado por el titular del proyecto o actividad durante el proceso de evaluación.

La Normativa general SEIA incluye algunas leyes como:

- Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.
- Ley N° 20.417, que Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación y la Superintendencia del Medio Ambiente.
- D.S. N° 40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

En lo referente a Cuba se puede afirmar que no cuenta con un cuerpo legal sólido que tenga como objeto principal la regulación de los vertederos y establezca sus principios jurídicos, los cuales son los pilares en que se asientan, inspiran e informan las normas jurídicas. La Ley No. 81 de 11 de julio de 1997 Del Medio Ambiente en Cuba, define en su artículo 9, inciso e), como uno de sus objetivos, regula el



desarrollo de las actividades de evaluación, control y vigilancia sobre el medio ambiente. En sus Capítulos II, III y IV, establece los conceptos y disposiciones generales del proceso de EIA, y que su dirección está en manos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Sin embargo, no especifica las actividades que corresponden a cada etapa ni plantea indicadores ambientales a medir.

En la NC 135: 2002, se hace referencia a los requisitos higiénicos sanitarios y ambientales que se cumplirán en la disposición final de los RSU en los vertederos habilitados a tales efectos. Es una herramienta para el establecimiento de los requisitos más significativos, desde el punto de vista higiénico sanitario y ambiental, relacionado con el trabajo en los vertederos. Insiste en la recuperación de materias primas, en las inspecciones sanitarias frecuentes y el tratamiento de los lixiviados. Sin embargo, no consta de indicadores para medir los impactos ambientales, aunque exige que no se implantarán VRS en terrenos donde los estudios hidrogeológicos, topográficos y otros, determinen contaminación para las aguas. Además, no hace referencia de las autoridades encargadas de la EA.

En la Resolución 132: 2009 del CITMA, que es la que en Cuba regula el proceso de EIA, se plantea en el artículo 11 del capítulo II las acciones para garantizar la eficacia de la EIA por parte de las autoridades competentes, como lo son la consulta a los organismos sobre la explotación y control de recursos naturales y el uso de mecanismos de verificación y monitoreo. A pesar de esto, no especifica qué tipos de mecanismos ni hace alusión a indicadores a medir para el control, ya que no se refiere a sitios de disposición final y no toma en cuenta etapas de su ciclo de vida que son tan importantes.

En la Guía para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales en La Habana, Rodríguez, F., Brito T. y Bériz V. (2013) definen que la administración municipal es la responsable de evaluar las condiciones del sitio existente para la disposición final y la necesidad de seleccionar uno nuevo, según requisitos técnicos, económicos, sociales y ambientales establecidos. Para ello deberá buscar el consenso y la



certificación de la autoridad ambiental municipal. Ofrece algunas etapas claves para el éxito del proceso y aconseja considerar la posibilidad de un centro de tratamiento, planta de reciclaje y/o compost en áreas aledañas al relleno sanitario. Hace imprescindible la tenencia de estudios del medio natural del lugar, como en las otras investigaciones revisadas. También alude a algunos factores a tener en cuenta, pero tampoco ofrece indicadores para la evaluación. Reconoce la no existencia de un sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales (GIRSM).

Se concluye que el tratamiento jurídico y normativo de los Sitios de Disposición final y sus principios jurídicos en Cuba se sustentan en la NC 135: 2002, la Resolución 132: 2009 del CITMA y la Ley 81 que tiene un conjunto de disposiciones referentes a estos sitios. Estos carecen de sistemas de indicadores ambientales, tanto en Cuba como en otros países. En el mundo se puede apreciar un interés más continuo por desarrollar las tecnologías y normas referentes al tema, adaptándolas a los nuevos tiempos y a los problemas cada día más evidentes. Por ello es necesario establecer dichos sistemas de indicadores en las normas referentes a EA en Cuba.

1.2 Sistema de indicadores para la evaluación ambiental

Un indicador ambiental es una medida que puede ser de origen físico, químico, biológico, social o económico. Permite evaluar toda aquella información ambiental disponible, con el fin de reflejar las condiciones en las que se encuentra el medio ambiente o un factor ambiental particular, en un tiempo y en un lugar determinado. Pueden ser cuantitativos o cualitativos dependiendo de cómo son medidos y apreciados. Los indicadores ambientales cuantitativos se basan en parámetros con los que dar información sobre un fenómeno. En cambio, los indicadores ambientales cualitativos se centran más en las observaciones y percepciones (Portillo, 2020).

Los indicadores ambientales deben tener ciertas características, por ser un instrumento que influye en la evaluación para tomar decisiones políticas sobre el medio ambiente. Entre las características de los indicadores ambientales están que



deben evaluar datos de calidad y fiables, ser fáciles de manejar y comprender, que predigan si habrá alguna evolución negativa, su coste debe estar equilibrado con su efectividad, ser sensibles a los cambios y ser específicos con el objetivo.

Portillo (2020) afirma que, en función de los datos que están disponibles, los indicadores ambientales se pueden clasificar en distintos tipos:

- Tipo I: los datos están siempre disponibles ya que son obtenidos gracias a un monitoreo permanente.
- Tipo II: se basan en cálculos de datos que provienen del monitoreo permanente, pero necesitan datos adicionales ya que los datos pueden estar total o parcialmente disponibles.
- Tipo III: no tienen ninguna base matemática ni están basados en datos que estén disponibles. Son indicadores conceptuales.

Por su parte Portillo (2020), expone algunos ejemplos de sistemas de indicadores ambientales:

- Índice de bienestar económico sostenible (IBES).
- Índice de desarrollo humano (IDH).
- Índice de sostenibilidad ambiental (ISA): evalúa las emisiones y concentración de agentes contaminantes, la calidad y el volumen de aguas.
- Índice de desempeño ambiental (EPI): cuantifica el rendimiento ambiental que tienen las políticas implementadas por un país en un tiempo determinado
- Índice global de economía verde (GGEI): analiza los cambios e inversiones que realizan los países por encaminar las economías hacia unas más sostenibles con el medio ambiente.
- Huella ecológica (HE): se relaciona con la capacidad que tiene la tierra de regenerar sus recursos.
- Índice de planeta vivo (LPI): mide las especies silvestres del planeta.
- Huella de carbono.



- Huella hídrica: cuantifica el uso ligado a una persona, un producto, una empresa, un país, etc. (Portillo,2020).

Otra familia de indicadores, clasificados en tres grupos por Rodríguez y Moncada (2012), son:

-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.

En la investigación de Urbina (2018), adapta los indicadores de PNUMA (2008) para realizar su gestión. A continuación, se muestran:

-Fuerzas Motrices: Se relacionan con procesos de la sociedad que promueven actividades que tienen un impacto sobre el medio ambiente. Incluyen demografía de la población; conductas de consumo y producción; patrones de distribución, y otros .

-Presión: Establece la relación de las causas de los problemas ambientales sobre los que deben actuar el gobierno local y de la sociedad.

-Estado: Describen las condiciones del medio ambiente local, resultado de las del proceso de desarrollo urbano.

-Impacto: Captan los efectos del estado del medio ambiente sobre diferentes ámbitos de interés para las actividades humanas.

-Respuestas: Permiten evaluar las medidas tomadas por los actores para enfrentar los problemas detectados, particularmente, los factores de presión antrópica sobre los recursos del medio ambiente.

En la ISO 14001:2004, asume tres categorías de indicadores para la EDA:



-Estado del medio ambiente: proporciona información sobre el estado del medio ambiente, regional, nacional o mundial. Solo reflejan las condiciones de calidad ambiental en el área de a la organización.

-Desempeño de gestión: permiten evaluar de los esfuerzos, decisiones y acciones tomadas a nivel de la planificación, administración y toma de decisiones para mejorar el desempeño ambiental.

-Comportamiento operacional: permiten evaluar el desempeño ambiental de las actividades operacionales como instalaciones físicas, equipos, etc.

A continuación, se muestran algunos indicadores que pueden abarcar toda la gama de peligros ambientales que están presentes dentro de la EA de los VRS y que se utilizan para poner en marcha las soluciones pertinentes a cada problema:

-Nivel de agua subterránea

-Calidad de aire.

-Concentración de contaminante específico en aire, agua, suelo.

-Biodiversidad y número de especies en peligro.

-Estudios epidemiológicos.

Los indicadores referidos hasta el momento, utilizan índices como instrumento de medición que se usan para comparar magnitudes físicas. Dichos índices de medición son el medio por el que se conoce el nivel del indicador. Son unidades de medida, que se utilizan con objetos y sucesos previamente establecidos como estándares o patrones. De la medición resulta un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia. A pesar de que los índices no forman parte del objetivo de esta investigación, sí ha sido importante analizarlos porque pueden transformarse a los efectos de la investigación en un indicador.

Hay distintos sistemas de indicadores como se puede apreciar, 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.

1.3 Sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de rellenos sanitarios

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, ya que las condiciones sociales, climáticas y geológicas varían de acuerdo al lugar. Dentro de los sistemas de indicadores más completos y precisos se encuentran los del Decreto Alemán para vertederos y sitios de disposición final (Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Deponieverordnung - DepV) (2021) y los parámetros propuestos por la corporación West Systems.

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 los siguientes:

- Porción orgánica del residuo seco de la sustancia original.
- DOC (Carbono orgánico disuelto).
- Biodegradabilidad del residuo seco de la sustancia original.

Esta norma contiene 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, separándolos en tres criterios:



- Contenido orgánico del residuo seco de la sustancia original: determinación del contenido orgánico de la muestra sólida de los residuos, que determina la pérdida de calor, TOC (Total organic carbon - carbono orgánico total).
- Criterios de materiales sólidos: Se determinan los contenidos de BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, o-, m-, p-xileno, estireno, cumeno), PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe - Hidrocarburos aromáticos policíclicos), sustancias lipofílicas y metales pesados en la masa seca se calula en miligramos (mg).
- Criterios de eluato: para obtener la concentración de los distintos parámetros contaminantes.

Este decreto no está dedicado a la EA, pero brinda los requisitos a tener en cuenta para el sitio y regula, en particular, los requisitos para la construcción, operación, cierre y cuidado posterior de los vertederos. Estas medidas incluyen la producción con garantía de calidad de sistemas de sellado para el sellado básico y superficial. La ordenanza también regula la recolección y descarga de lixiviados y gases de rellenos sanitarios. Posee una amplia gama de indicadores a medir que proporciona datos certeros y completos.

Según la Guía Ambiental de VRS de Colombia (2002) plantean cuando ya esté implantado el VRS, la frecuencia de monitoreo está relacionado con la complejidad del sitio y los indicadores a monitorear son:

- En los acuíferos: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, metales pesados, DQO (Demanda Química de Oxígeno); DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), materia orgánica, nitratos y nitritos, si los niveles son altos la frecuencia sería mensual y si son bajos anuales.
- Biogás: composición del biogás (CH₄, CO₂, O₂), se evaluará bimestral. El de explosividad se evaluará diario.
- Partículas aerotransportables: partículas suspendidas totales y partículas respirables; se evaluará mensualmente.



Esta evaluación hace un estudio de todos los impactos que pueden afectar el sitio por la implementación de la estructura, teniendo en cuenta a todas las especies que habitan en el lugar. Carece de más indicadores para el monitoreo de los lixiviados como fenoles, DOC, cianuro, los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, o-, m-, p-xileno, estireno, cumeno) o contenido de sólidos disueltos los planteados en el Decreto alemán antes abordado.

En la municipalidad de Santa Rosa de Copan, Honduras, Rodríguez (2008) en el vertedero de esta localidad hace un diagnóstico general del relleno de futura construcción y del área que impactará, dando una mayor cobertura a todo lo que altere el espacio donde se implementará. Los indicadores utilizados para la evaluación de los impactos fueron:

- 1- Los residuos líquidos: teniendo en cuenta su origen caudal y caracterización del afluente. El agua a través del relleno sanitario pasa por dos fases:
 - a) Ruta a través del suelo de cobertura.
 - b) Ruta a través de los residuos compactados.

Las principales características del efluente que estudian son el pH, DBO, DQO y metales pesados (como Cadmio, Cromo y Plomo).

- 2- Los residuos sólidos que aceptarán en el VRS serán los de origen doméstico de naturaleza municipal, con una composición de aproximadamente 50% orgánicos, y un 50% inorgánicos.
- 3- La emisión atmosférica se afectará en la Fase Aeróbica, se controla con la operación diaria y tapando con tierra los residuos con un mínimo de espesor de 15cm hasta los 4cm. En la Fase Anaeróbica los gases metano y CO₂ se controlarán con la colocación de drenajes para estos gases (chimeneas).
- 4- Ruidos y vibraciones provendrá de las actividades de la maquinaria y equipo durante las operaciones. (Rodríguez 2008).

En la Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales de Jaramillo (2002), se hace una gran recopilación de elementos necesarios para la



implantación de un VRS. Resalta constantemente el monitoreo de la calidad del agua subterránea y superficial y de los lixiviados teniendo en cuenta parámetros como el Ph, nitratos, sulfatos, sólidos suspendidos etc. Sobre los gases que se emiten, no se menciona mucho salvo la necesidad de mantener en buen estado las chimeneas. Estos indicadores relativos a las aguas son bastante eficaces, por lo que se debería hacer monitoreos intensivos en los primeros meses.

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 CO₂ y CH₄;
- 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.

López Vega, Ramírez González y Santos Herrero (2021) en su investigación sobre la predicción de la generación de lixiviados en VRS de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Santa Clara, Cuba, emplean el Método Suizo. Se basa en datos de la composición de los residuos, suelo y área del relleno, así como climatológicos. Permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de los lixiviados (Q) que este depende de las precipitaciones anuales (P), el área del relleno o de la celda (A), el



tiempo (t) y el coeficiente de compactación de los residuos (K); y las cargas contaminantes (CC) depende de los factores de DBO₅, DQO, de los sólidos suspendidos (SST) y el valor del caudal. Este método resulta de gran utilidad para la toma de decisiones en el diseño de futuros rellenos sanitarios y plantas de tratamientos de lixiviados a construirse.

Para lograr una buena EA es imprescindible contar con un sistema de indicadores cuantitativos que muestren el verdadero impacto que puedan causar los VRS, a las aguas subterráneas y las partículas respirables en el aire que dañen el ecosistema; sin menospreciar los cualitativos, pero los cuantitativos dotan de un resultado contundente. Por estos motivos se considera que los indicadores más apropiados son los del Decreto Alemán y los reflejados en la metodología de la West Systems que también se le equipara. Por tanto, se asumen ambos como referencia para la conformación de la propuesta de sistema de indicadores para la presente investigación.

1.3.1 Experiencias en el uso de sistemas de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de rellenos sanitarios

Las experiencias en el mundo sobre el uso de sistemas de indicadores para la EA de VRS, han utilizado diferentes metodologías y sistemas para ello, adaptándolo a sus condiciones geoclimáticas y económicas. Dentro de algunas de las bibliografías referentes a la EA de los VRS, utilizan las matrices como en el Trabajo integrador de Burquin (2018), o el Plan Director de Uruguay (2005). Estas definen las interrelaciones entre las acciones identificadas y los factores ambientales, determinando así los daños significativos y la posibilidad de ocurrencia de un impacto ambiental dado. Este método permite elaborar medidas de mitigación, para reducir los daños, a parte de que dotan de indicadores físico-químicos para el monitoréo de los gases y los lixiviados como la medición de DBO₅ y DQO, CH₄, pH, metales pesados, coliformes.



La metodología para realizar la EIA que siguen Castillo Rojas y Castillo Castillo (2007), consiste en la conformación de la línea base ambiental como primer paso, utilizando información de factores ambientales y de efectos ambientales que se utilizan como referencia para identificar los impactos dentro del proyecto. Luego hacen un muestreo de campo para determinar el estado actual del agua, suelo y las especies de animales y plantas. Seguido se identifican y valoran los impactos, se llena la lista de chequeo, seleccionando los impactos más significativos. Se conforma la matriz de Leopold y luego de una revisión exhaustiva de acciones y factores que se proponen en la matriz y se seleccionan las relacionadas con el tema a calificar. Sin embargo, carece de parámetros de laboratorio para el monitoreo de la contaminación.

Mosquera, Canchingre y Morales (2014) realizaron una investigación sobre la realidad del cantón Atacame en Ecuador, en la provincia de Esmeraldas en el relleno de esta localidad, su objetivo es evaluar los impactos ambientales generados por el vertedero de residuos sólidos de dicha localidad. Los métodos utilizados fueron la lista de chequeo, la matriz causa–efecto, que son cualitativo y la matriz de Leopold método cuantitativo, proporciona la relación causa–acción del ciclo de vida del vertedero, y los componentes ambientales sobre los que actúa.

Las actividades del ciclo de vida del proyecto consideradas para la la matriz de Leopold son: desbroce, extracción de tierras, incremento del tráfico, ruido, polvo sucesivamente, y los factores ambientales que son considerados aire, agua, geología ect. Sus intersecciones se numeran con dos valores, uno indica la magnitud (de -10 a +10) y el segundo la importancia (de 1 a 10) del impacto de la actividad respecto a cada factor ambiental.

Esta investigación a pesar de estudiar los daños en todo el ciclo de vida del vertedero, no utiliza parámetros físico-químicos para estimar alteraciones en los acuíferos, aire o suelo. La numeración de la magnitud del daño se sostiene solo a la experiencia del evaluador y a su buen juicio, esto podría generar ineficiencias puesto



que puede haber más daños y no ser perceptibles a los ojos y causar estragos, como el proceso de precolado de los residuos.

En la localidad de Huambo (Angola) la deposición de residuos sólidos en el vertedero conocido como Katenguenha constituye un grave problema ambiental. Se evaluó los efectos que sobre el medio ambiente que produce este vertedero. Para ello se aplicó el método de criterios relevantes integrados (CRI). Este método se basa en un análisis multicriterio, partiendo de la idea de que un impacto ambiental se puede estimar a partir de la discusión y análisis de criterios con valoración ambiental, estos se seleccionan dependiendo de la naturaleza del proyecto.

Este método considera como indicadores de impactos valores a los efectos adversos relevantes de acuerdo a los criterios de extensión, intensidad, duración, reversibilidad y riesgo, para de esta manera alcanzar el valor de impacto ambiental por efecto y la jerarquización de los mismos. Los resultados mostraron que el vertedero de residuos sólidos en Katenguenha impacta negativamente todos los medios (físico, biológico y social) y los impactos clasifican en su mayoría como de categoría II que es alta, con un Valor de Impacto Ambiental superior a 6, alto y baja probabilidad de reversibilidad (Bau-Satula et. al, 2017).

En Brasil Antunes e Imaña (2018) investigaron la influencia del relleno sanitario de la ciudad de Goiânia sobre la agrupación de especies arbóreas en la Sabana brasileña, realizaron pruebas de laboratorio para medir la contaminación del suelo y del agua freática. Por el análisis se concluyó que el basural influye directamente en la agrupación de las especies arbóreas del bosque adyacente, conforme se alejan del área del basural se modifican drásticamente en la relación del peso ecológico en la comunidad vegetal de las sabanas.

En función de la distancia del basural, seis elementos químicos incidieron directamente en el comportamiento y la agrupación de especies de la vegetación arbórea existente, estos fueron: acidez, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos, sulfato y amonio. La contaminación del agua freática no tuvo



relación con la distancia al basural. Esos seis elementos mostraron una presencia excesiva en relación con los patrones establecidos por el Ministerio de la Salud, Organización Mundial de la Salud y del Consejo Nacional del Medio Ambiente y estos elementos coinciden dentro de los parámetros a evaluar en algunos sistemas de indicadores.

En nuestro país hay estudios relacionados a los VRS, Espinosa, M.C. et.al. (2010), realizó un análisis del comportamiento del lixiviado vertedero de RSU de Ciudad de La Habana, situado en Calle 100, municipio Marianao que es el mayor de en el país. Se realizaron mediciones de campo y de laboratorio, y se estudiaron indicadores fisicoquímicos y microbiológicos. Se compararon los resultados con los límites máximos permisibles promedios de la NC 27:99 Vertimiento de Aguas Residuales a Aguas Terrestres y Alcantarillado, y comprobaron que incumplía los parámetros establecidos. Los resultados demostraron el efecto negativo de los lixiviados generados, atendiendo a la carga que se dispone.

La falta de sistemas de información, control y descuido por parte de las autoridades responsables, dificulta la posibilidad de planificar y tomar decisiones, respecto al saneamiento ambiental del área. Los indicadores para el análisis de lixiviados de normas de hace más de 20 años (Espinosa, M.C. et.al., 2010).

En nuestra provincia, Columbié y Espinosa (2012), realizaron la EA del vertedero de Alcides Pino después de observar situaciones desfavorables que mostraba y que se había convertido en un botadero. Se hizo un diagnóstico de las condiciones higiénico-sanitarias, según la NC 135: 2002 y de los criterios geotécnicos en las diferentes etapas que componen el ciclo de vida de este proyecto. Obtuvo el incumplimiento de los requisitos ambientales e higiénicos sanitarios establecidos, estos controles no fueron insuficientes pues la norma no plantea un procedimiento para este estudio. Solo hacen una evaluación geotécnica, no ambiental.

Luego de revisar diferentes experiencias se evidencia que la problemática en los vertederos, son problemas comunes en varias regiones del mundo. Entre las causas



se encuentran la deficiencia de EA, los escasos de sistemas de indicadores ambientales que proporcionen un diagnóstico certero, abarcador y que muestre todos los daños que se ocasionan ya que muchos indicadores son cualitativos y no muestran la profundidad del daño. También la falta de organismos que controlen y la desactualización de las normas. Es preciso tener un rigor elevado a la hora de estudiar estos lugares pues las consecuencias que generan son grandes al entorno y nos afectan a todos.

Conclusiones del capítulo

Luego del análisis de los antecedentes teóricos-metodológicos se demuestra que existen pocos estudios a nivel nacional e internacional sobre la utilización de sistemas de indicadores para evaluar los daños de los vertederos. Se pudo diagnosticar que a pesar del desarrollo en ascenso del tema aún son muy pocas las propuestas con este fin por lo que se demuestra la necesidad de un sistema de indicadores sólido para dichas instalaciones de disposición de residuos. Dichos indicadores ambientales, a pesar de su enorme utilidad en la evaluación ambiental, aún representan muchas limitantes de carácter metodológico y empírico, como por ejemplo, restricciones institucionales, problemas técnicos de medición y representatividad.



CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS VERTEDERO DE RELLENO SANITARIO

Continuando con las experiencias extranjeras y nacionales expuestas en el capítulo precedente, surge la necesidad de desarrollar un sistema de indicadores (SI) para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario. El objetivo es que sean lo más diáfanos y eficientes posibles para lograr un buen estudio. Se muestran su diseño las concepciones metodológicas, para de esta forma realizar una propuesta con la mayor calidad técnica y ambiental.

2.1 Concepciones metodológicas para la elaboración del sistema de indicadores

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 EAE como la EIA 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.

Para la construcción del SI se debe definir primeramente un marco conceptual teórico desde el que se seleccionen los indicadores y se establezca la manera en que estos se combinen entre sí. Dicho marco conceptual debe ser lo más inteligible y detallado posible para disponer de una mejor definición del SI y de las relaciones entre sus componentes. Para ello, es necesario tener categorizado, de forma amplia, el contexto de análisis y tener comprensión del fenómeno a medir.

El marco conceptual teórico debe estar basado en lo que se desea medir y no en lo que está disponible para medir. Es conveniente que en esta etapa participen



expertos en el área de estudio y grupos de interés, para tener en cuenta múltiples puntos de vista y aumentar la solidez del proceso. De lo contrario, el SI puede proporcionar unos resultados pobres en información. Por lo tanto, la transparencia en la construcción de los SI es esencial. Para ello se debe garantizar en el desarrollo del marco conceptual teórico (Cerdá, 2014):

-Definición del concepto multidimensional: debe proporcionar una idea clara y concisa de lo que se quiere evaluar mediante el SI. Sin embargo, algunos conceptos complejos son muy difíciles de definir y medir con precisión, y pueden ser objeto de controversia entre las partes interesadas. Finalmente, los usuarios de los SI deben evaluar su calidad y relevancia.

-Identificación de los criterios de selección para el conjunto de indicadores: los criterios de selección se utilizan como una guía para la decisión de la inclusión o exclusión de un indicador en el SI global. Deben ser lo más claros y concisos posible para facilitar la elección del conjunto de indicadores relevantes que va a ser objeto de estudio en posteriores análisis.

2.2 Sistema de indicadores para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario

El sistema de indicadores para la evaluación ambiental de un VRS propuesto en la presente investigación, se definió de manera que pueda ser aplicado en cualquier región. Permite evaluar y monitorear dichas instalaciones, identificar mejoras tecnológicas en los procesos y simular futuros escenarios, en resumen, constituye 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. Finalmente se diseñará un plan de medidas de prevención, corrección y mitigación a fin de garantizar recuperación ambiental del proyecto. 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 intersece un componente ambiental con un indicador se ubicarán los valores de los criterios de evaluación para lo cual se subdivirá la misma en cuantas 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).



La ejecución de un relleno sanitario es un ejemplo claro de una alteración ambiental originada por el hombre. En especial genera efectos como alteración de la calidad del aire, pérdida de especies de flora acuática y terrestre, alteración del ciclo hidrológico y disminución de la calidad de aguas superficiales y subterráneas (Burquin, 2018).

A continuación, se identificarán y analizarán todos los impactos ambientales, positivos o negativos, derivados de las etapas de construcción, operación y cierre del VRS.

En la etapa de construcción se afecta el suelo, por las actividades de desmonte, durante la preparación del terreno, para la apertura de las primeras trincheras, obras de drenaje de aguas pluviales. Aumentarán los riesgos de erosión, la capacidad de infiltración del agua y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuirán. Se verá incrementado el consumo de agua, para regar los caminos de acceso al área y para la ejecución de las obras propias del proyecto. Las maquinarias utilizadas producirán ruidos y partículas de polvo, provocando una contaminación puntual en el sitio. La flora y fauna se afectará por la pérdida de buena parte de la cobertura vegetal que protege al suelo, impactando a especies de animales que ocupan los árboles como nichos ecológicos. El paisaje se verá afectado con los daños al ecosistema, el valor del sitio disminuirá, cambiando el potencial paisajístico del sitio. En la salud se pueden presentar algunos problemas ligados a las actividades anteriores. Las condiciones socioeconómicas generarán nuevos empleos, pero por otra parte se producirá una pérdida del valor de las tierras cercanas al relleno.

En la etapa de operación el suelo se verá impactado por la producción constante de lixiviados. Las aguas subterráneas pueden verse afectadas por el desgaste de la manta aislante y la infiltración de los lixiviados. Parte de los residuos generados a diario están compuestos por materia orgánica que, al descomponerse, producirá a gran cantidad de gases, ocasionando una contaminación en el aire. Los impactos sobre la vegetación, tendrán un efecto negativo, por la tala de los árboles en el área donde se ubicarán las nuevas trincheras. El valor del sitio experimentará una



disminución. Habrá una disminución de enfermedades provocadas por vectores puesto que los residuos serán cubiertos, sin embargo, estará como impacto negativo la generación de malos olores. Socioeconómicamente se producirán nuevos empleos, para el desempeño de las distintas actividades a realizarse en la obra.

Durante la etapa de cierre, el suelo no podrá ser utilizado para actividades agropecuarias y de urbanización, únicamente para fines ornamentales y de conservación, en dependencia de su nivel de contaminación. Las fuentes de agua subterráneas no se verán afectadas si el tipo de suelos presenta características impermeables, impidiendo la infiltración de lixiviados. Después de cerrado el relleno, se le tiene que dar un seguimiento, para evitar que no se produzca ninguna contaminación a las fuentes de agua superficiales, el aire se puede ver afectado por las emisiones, de gases que aún se emitirán del relleno. Mejor percepción visual por las obras de reforestación y el retiro de infraestructura. Los impactos sobre la salud de las personas, será mínima. Las condiciones económicas de las personas que recibían un salario por trabajar en el relleno, se verá disminuida, pero se contratarán personas para darle mantenimiento al área.

Una vez caracterizados e identificados los impactos, el paso siguiente será definir los indicadores ambientales a evaluar durante cada etapa del VRS. Para esto se relacionaron en las tablas 1, 2 y 3, correspondiendo cada una a una etapa diferente del ciclo de vida del relleno.

TABLA 1: Definición de los indicadores ambientales a evaluar durante la etapa de construcción del relleno sanitario.

Etapa de Construcción	
1	Preparación de la superficie del terreno: se chequeará que el área de deposición tenga la impermeabilidad requerida tanto para la barrera geológica como para el sistema de impermeabilización de la base.
2	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. También se determina si el vertedero está



	cercado y en qué condiciones lo cual evitaría el acceso de animales y personas ajenas a la entidad.
3	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.
4	Red de desviación de pluviales: las aguas de escorrentía superficiales no pueden ni deben entrar en el área de vertido, pues llevaría a aumentar la producción de lixiviados; por ello, deben ser desviadas mediante la construcción de canales abiertos y rodeando toda el área de vertido.
5	Sistemas de recogida y tratamiento de lixiviados y gases: antes de depositar los residuos 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 antes de su vertido, si fuese preciso. Para la conducción de gases y lixiviados se utilizan gravas, geotextiles y georredes. Para el aislamiento se emplean arcillas naturales, aislantes arcillosos geosintéticos y geomembranas.

TABLA 2: Definición de los indicadores ambientales a evaluar durante la etapa de operación del relleno sanitario.

Etapa de Operación	
1	Control de las entradas y salidas: Es necesario controlar el origen de los residuos recibidos y además contar con una báscula para conocer de forma precisa la cantidad que se aportan al vertedero.
2	Medios de transportación: se refiere a aquellos medios que se utilizan para la recogida de los residuos, la capacidad de cada uno de ellos así como la cantidad de viajes diarios que dan cada uno. Pueden ser transporte convencional (carretoneros), tractores con carreta, camiones Ampiroil o algunos carros de empresas que depositan con una autorización previa. Ello servirá para determinar el volumen de residuos que se recepciona o saca de la instalación, así como mantener un control de a dónde pertenecen. Se debe controlar a través de algún modelo de la Unidad Presupuestada de Servicios Comunes para el parte diario de la recogida y un designado para controlar dicha tarea.
3	Clasificación de los residuos recibidos: se define qué tipos de residuos son recepcionados (escombros, vidrio, cartón, tela, aluminio, metales,



	plásticos, residuos de riesgo biológico (hospitalarios), madera, etc.). Esto permitirá más adelante el aprovechamiento de los mismos ya sea como materias primas o como alternativa energética.
4	Maquinarias existentes para el manejo de los residuos en la instalación: este indicador es necesario para verificar si se están cumpliendo con las formas de operar definidas para el vertedero, la calidad con que se hace, y si existen problemas con la disponibilidad de estas maquinarias y su mantenimiento, ya que estos son factores que podrían impactar en el buen funcionamiento de la instalación.
5	Disponibilidad de material para la preparación de trincheras y la cobertura final de los residuos: resulta de vital importancia tener disponible el material adecuado para la cobertura de los residuos y para la impermeabilización de paredes y fondo de las trincheras para evitar la penetración de lixiviados causando contaminación de las aguas subterráneas y del suelo.
6	Medidas para minimizar el impacto visual y paisajístico durante la explotación: para esto se colocación de pantallas visuales, se adecua la instalación al paisaje, se le da acceso oculto a la visión directa u orientación de las trincheras para reducir el impacto visual, según lo establecido en la NC 135: 2002.
7	Preparación de la muestra de material para ensayos a nivel de laboratorio: se utiliza el método de cuarteo o de fragmentación. Para esto se toman con ayuda de una pala los residuos de diferentes puntos del vertedero de forma que se obtenga una muestra que contenga todos los tipos de residuos depositados hasta el momento. Se deben utilizar todos los medios que garanticen la efectividad de la toma de muestras y la protección de los operarios.
8	Análisis físico-químico de las muestras de residuos: algunos de los parámetros a verificar serán TOC, el DOC, temperatura de los lixiviados, contenido de humedad y de material orgánico, conductividad eléctrica, pH, metales pesados en aguas superficiales y residuales.

TABLA 3: Definición de los indicadores ambientales a evaluar durante la etapa de cierre del relleno sanitario.

Etapa de Cierre



1	Plan de medidas de monitoreo y mitigación: se propone para aquellos factores que no estén rindiendo de la mejor forma.
2	Aprovechamiento de los residuos: se debe concluir si existe alguna posibilidad de aprovechamiento como puede pasar con la fracción orgánica para fabricar compost que puede ser utilizado como abono sustituyendo el uso de fertilizantes químicos y reduciendo la emisión de óxidos de nitrógeno.
3	Posibilidades de reinserción: especificarlas en caso de existir, ya sea para cultivos, espacios públicos y recreativos.
4	Verificación el funcionamiento de los sistemas de recolección de gases y lixiviados.
5	Condiciones de la capa de recultivación: aquí se mide la calidad de la cobertura, tanto el modo en que se hizo como la calidad del material.
6	Labores de desmantelamiento, limpieza y colocación de capa de cobertura final: el relleno debe cubrirse con tierra de forma tal que mantenga la vegetación, por lo que es importante que se haga de forma adecuada. Con esto se minimiza la presencia y proliferación de moscas y aves, se evita la entrada y proliferación de roedores, se logra evitar incendios y presencia de humos, y se reducen los malos olores.

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:

Probabilidad de Ocurrencia	Valor
Poco Probable	1
Probable	2
Muy Probable	3

- Extensión (E)

Se refiere a la influencia espacial de los efectos o al porcentaje de la comunidad o población afectada la cual podrá ser:

Grado de Extensión	Valor
Puntual	1
Local	2
Regional	3

- Por su perturbación (P)

Se relaciona con el grado de perturbación al medio la cual podrá ser:

Grado de Perturbación	Valor
Escasa	1
Regular	2
Importante	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:



Grado de Importancia	Valor
Baja	1
Media	2
Alta	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:

Grado de Reversibilidad	Valor
Reversible	1
Parcial	2
Irreversible	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:

Grado de Duración	Valor
Corta	1
Mediana	2
Permanente	3

Para obtener el valor de impacto ambiental sobre cada uno de los componentes, se deberán valorar a través de la ecuación matemática: $C \times (P + I + O + E + D + R)$. 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 la 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. La tabla 4 muestra cómo quedaría la matriz propuesta.

TABLA 4: Matriz de Leopold modificada para la aplicación del sistema de indicadores ambientales.

Indicadores Factores ambientales	Etapa de construcción				Etapa de operación				Etapa de cierre				
	1...												...n _i
Suelo													
Agua													
Aire													
Flora y fauna													
Paisaje													
Salud													
Condiciones socioeconómicas													

n_i: el número que se le asigne a cuantos indicadores se definan.

Fuente: Elaborado por el autor.



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.

Aunque no es el principal objetivo de esta investigación, se sugiere también un sistema de indicadores para la mejora de los vertederos (tabla 5) para facilitar la búsqueda al evaluador interesado, concentrándose durante las tres etapas del proyecto definidas. Es una referencia para todas las actuaciones significativas que se lleven a cabo en relación a la forma de proceder, independientemente de cual sea su origen y naturaleza.

TABLA 5: Sistema de indicadores para la mejora de los vertederos.

Fase del ciclo de vida	Ubicación Espacial	Responsable	Indicadores para la mejora
Fase de construcción	Área del Relleno y vías de acceso	Contratista y supervisor de la obra	En la apertura de caminos, cortes y rellenos se deberá regar dos veces por día con el fin de disminuir la cantidad de material particulado disperso en aire.
Durante todo el desarrollo de la fase de construcción y Operación	Área del Relleno	Contratista y supervisor de la obra	En la preparación del relleno se cortarán sólo los árboles que estén ubicados en las áreas donde se construirán las primeras trincheras, disminuyendo la pérdida de biodiversidad, del valor paisajístico del sitio y actuando como cortinas rompe vientos.
Fase de Operación	Área del Relleno	Supervisor del Relleno	Una vez llenas las trincheras, estas serán tapadas con material de cobertura y luego se sembrarán árboles sobre ellas, para disminuir



			los impactos sobre el paisaje y amortiguar la contaminación por el polvo.
Fase de Operación	Área estinada para la instalación de trincheras	Supervisor del Relleno	Al final del día los residuos que hayan ingresado al relleno serán cubiertos con un 20% del material de cobertura a fin de evitar la proliferación de vectores, malos olores y dispersión de basura.
Fase de Construcción y Operación del Relleno	Área del Relleno y vías de acceso	Municipalidad y Supervisor del Relleno	Todas las personas que trabajen en el área del relleno deberán contar con un equipo de protección personal a fin de evitar afectaciones a la salud.
Fase de Construcción y Operación del Relleno	Área del Relleno	Supervisor ambiental	Se construirán chimeneas para la evacuación de gases hacia la atmósfera para evitar riesgos de explosión y que queden circulando los gases.
Durante las 3 fases del proyecto	Área de influencia directa y indirecta del proyecto	Supervisor ambiental	Para evitar que los gases que se generen en el relleno afecten la salud de la población aledaña, y además para frenar la erosión hídrica, se deberá reforestar las áreas de influencia del mismo.
Fase de construcción y Operación	Vías de acceso al Relleno	Supervisor ambiental	A las distintas vías de acceso al relleno se le deberá dar un mantenimiento constante para evitar su deterioro y de los vehículos que transporten los residuos.
Fase de cierre	Área del Relleno	Municipalidad	Se ejecutará un proyecto de conservación con especies arbustivas de la zona, y en la medida de lo posible un reordenamiento de las especies afectada durante este proyecto.

Fuente: Burquin (2018)

Las autoridades responsables deben revisar periódicamente los planes de seguimiento y actualizarlos si es necesario. Sobre la base de los planes de seguimiento, las autoridades competentes elaborarán o actualizarán periódicamente



programas de seguimiento, en los que también se especificarán los períodos en los que deben realizarse las inspecciones in situ. El intervalo en el que deben visitarse los vertederos depende de una evaluación sistemática de los riesgos ambientales asociados con el vertedero, en particular sobre la base de los efectos posibles y reales del vertedero en cuestión sobre la salud humana y el medio ambiente, teniendo en cuenta los niveles y tipos de emisiones, la sensibilidad del entorno local y el riesgo de accidentes derivados del vertedero.

2.3 Valoración de la factibilidad de la propuesta

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. Basado en ello, se conformó un grupo de 13 personas procurando que cumplieran los siguientes requisitos:

- Universitarios.
- Más de 10 años en su desempeño profesional.
- El dominio teórico de las temáticas referentes a la propuesta a evaluar.
- Una trayectoria avalada por resultados científicos-investigativos destacados.
- Voluntariedad para su cooperación con la investigación.

Para la selección definitiva del grupo de especialistas a los que se aplicaría la encuesta, se hizo necesaria la determinación del coeficiente de competencia (K_c) de cada uno, utilizando la autovaloración del mismo por el propio experto de acuerdo con la opinión sobre su nivel de conocimiento acerca del problema que se está resolviendo y con las fuentes que le permiten argumentar sus criterios. El coeficiente de competencia se calcula por la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{1}{2}(kc + ka)$$



Donde

K_c : es el coeficiente de competencia.

k_c : es el coeficiente de conocimiento o información que tienen el experto acerca del problema, calculado sobre la valoración del propio experto en una escala de 0 a 10 y multiplicado por 0,1. De esta forma, la evaluación 0 indica que el experto no tiene absolutamente ningún conocimiento de la problemática correspondiente, mientras que la evaluación de 10 significa que el experto tiene pleno conocimiento del problema planteado.

k_a : es el coeficiente de argumentación de los criterios del experto, obtenidos como resultado de la suma de los puntos resultantes a través de una tabla patrón (anexo 1, tabla 3). Al experto se le presentará esta tabla sin cifras orientándose el marcado de cuáles de estas fuentes el considera que han influido en su conocimiento. Posteriormente utilizando los valores de la tabla patrón para cada una de las casillas marcadas por el experto se calcula el coeficiente de argumentación.

Ya determinados ambos coeficiente se calcula el coeficiente de competencia del experto el cual se clasifica de la siguiente forma:

Si $0,8 \leq K_c \leq 1$, el coeficiente de competencia del experto es alto.

Si $0,5 \leq K_c < 0,8$, el coeficiente de competencia del experto es medio.

Si $K_c < 0,5$, el coeficiente de competencia del experto es bajo.

Los 13 especialistas respondieron la primera encuesta (anexo 1). De ellos 9 presentan un coeficiente de competencia superior o igual a 0,8 ($0,8 \leq K \leq 1$), al ser categorizados como especialistas altos; 2 presentan el coeficiente de competencia en este intervalo: $0,5 \leq K < 0,8$, por lo que quedan clasificados como especialistas medios; mientras que 2 especialistas no resultaron seleccionados para aplicarles la segunda encuesta al tener sus coeficientes de competencia inferiores a 0,5 (anexo 1 tabla 4). El coeficiente de competencia promedio de los expertos seleccionados resultó de 0.88, lo que asegura la fiabilidad en la selección de los especialistas.



Esto proceso permitió realizar las valoraciones pertinentes respecto a la competencia de los especialistas seleccionados, en este caso 11, provenientes de la Unidad Presupuestada de Servicios Comunes del Municipio Holguín y de Velasco (3), el CITMA (3), así como de la Universidad de Holguín (5). Finalmente se les envió la segunda encuesta (anexo 2).

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 pidió su opinión. Se solicitó a los especialistas su valoración sobre la base de las dimensiones siguientes:

Dimensión 1: Aplicabilidad del sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

- 1- Nivel en que se valora por los expertos la existencia de los requerimientos técnicos y humanos para aplicar el sistema de indicadores.
- 2- Nivel en que valoran los expertos la claridad y precisión del sistema de indicadores propuesto.
- 3- Nivel en que valoran los expertos la aceptación de la propuesta por trabajadores de las entidades a fin y de la población en general.

Dimensión 2: Eficiencia del sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

- 1- Nivel en que valoran los expertos el favorecimiento en la reducción de las afectaciones a los recursos naturales, entorno social e imagen urbana.
- 2- Nivel en que valoran el favorecimiento del logro del carácter educativo de la propuesta.
- 3- Nivel en que valora el favorecimiento del proceso de EA de los vertederos de relleno sanitario con la propuesta del sistema de indicadores.

Dimensión 3: Optimización del sistema de indicadores:

- 1- Nivel en que valora el experto que el sistema de indicadores sirve como buen instrumento teórico – práctico para el logro de las metas deseadas.



Después de aplicada la encuesta se pasó al procesamiento de la misma en cada una de los criterios considerados en las dimensiones:

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 de opiniones de los especialistas 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 DEL CAPÍTULO

La evaluación ambiental de vertederos de rellenos sanitarios utilizando la matriz de Leopold permitió establecer un sistema de indicadores para monitorear los impactos que se puedan estar generando en la instalación. Esto permitirá percibir la magnitud y la importancia de los daños ocasionados en un vertedero en las etapas más importantes de su ciclo de vida. El sistema quedó conformado por 19 indicadores integrados a través de dicha matriz. La matriz hará posible identificar los métodos constructivos y de operación que están siendo violados y la presencia de contaminantes difíciles de controlar y dará paso a un plan de mitigación ambiental enfocado a estas tres fases. Al contemplar el uso de parámetros físico químicos extraídos de la ordenanza alemana aumenta la eficacia. Mediante el criterio de especialistas se pudo valorar la factibilidad de la propuesta del sistema de indicadores concluyéndose que los siete criterios evaluados fueron considerados positivos.



CONCLUSIONES GENERALES

La sistematización de los fundamentos teóricos-metodológicos evidenció que las problemáticas para la evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario son problemas comunes en varias regiones del mundo. Demostró la necesidad de aplicar un sistema de indicadores para su evaluación ambiental, si es que se quiere parar las afectaciones medioambientales que están causando las malas prácticas

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.

La validación mediante el criterio de expertos demostró que los siete criterios evaluados fueron considerados positivos desde el punto de vista de la aplicabilidad (con un 79%), la eficiencia (91%) y la optimización de la propuesta (91%). Además que permitió corroborar la hipótesis planteada.



RECOMENDACIONES

Se sugiere a:

La Unidad Presupuestada de Servicios Comunales 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.
- 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 en función de mejorar la operación y mantenimiento de estos sitios.

Al Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín:

- Mantener la incorporación en el plan de superación, temáticas relacionadas con la evaluación ambiental y los sitios de disposición final en general, para fomentar cambios en la conciencia ambiental y el actuar de los implicados y para que se siga perfeccionando el proceso y su implementación sea lo más efectiva posible.

El autor deberá divulgar los resultados obtenidos en el trabajo de investigación a través de publicaciones científicas en revistas y la participación en eventos científicos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaide, O., Rey G., Salas G., Diaz T., Soto T. (2001). Aplicación de indicadores ambientales como medida de la calidad ambiental del territorio del municipio bautista. iv taller internacional de ciencias de la tierra y medio ambiente.
- 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. ISSN.2215-2504
- Álvaro A. y Fantelli M. (2001). Explotación de vertederos (I). Revista Residuos nº60. Westakle K. Sustainable landfill-possibility or pipe-dream? Waste management and Research. Descargado en <https://www-sciencebase-gov.translate.goog>.
- Bas, C., (2014). Estrategias metodológicas para la construcción de indicadores compuestos en la gestión universitaria. Tesis doctoral.
- Batista, V. (2021). Procedimiento para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de Relleno Sanitario. Universidad de Holguín.
- Bau-Satula, Ulloa-Carcasés y Gola-Cahimba, (2017). Evaluación ambiental del depósito de residuos sólidos de Katenguenha, Angola.
- Bergman, S. (2020). Guía para la elaboración de una Evaluación Ambiental Estratégica.
- Biosfera Consultoría Medioambiental. (2021). Asturias-España. <https://biosfera.es/evaluacion-ambiental/> (Consultado en marzo de 2021).
- Burquin, Y. (S.F). Trabajo Integrador Final Estudio de Impacto Ambiental: Construcción de Relleno Sanitario para la disposición final de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Berisso. La Plata.
- Castillo, R. y Castillo C., (2007). Estudio del impacto ambiental del relleno sanitario de la cabecera cantonal de Pindal – Provincia de Loja. Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Loja.



- Columbié, Y., Espinosa, G. (2012). Evaluación geotécnica del relleno sanitario Alcides Pino, municipio Holguín. Civil. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya.
- Decreto Legislativo 13 de enero de 2003, n. 36. Aplicación de la Directiva 1999/31 / CE sobre vertederos de residuos. Publicado en el Boletín Oficial núm. 59 de 12 de marzo de 2003 - Suplemento ordinario n. 40
- Eguizabal, I. (S.F). “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Perú
- El portal de la Unión europea. 1995. El acta de la Unión Europea. Disponible en <http://europa.eu/scadplus/treaties/singleact> es.htm. Consultado en marzo del 2021.
- Espinosa, C., López, M., Pellón, A., Robert, M., Diaz, S., González, A., & Fernández, A. (2010). Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. Revista internacional de contaminación ambiental, 26(4), 313-325
- Garrido V. (2008) Metodología de diagnóstico ambiental de vertederos, adaptación para su informatización utilizando técnicas difusas y su aplicación en vertederos de Andalucía. Granada. Consultado en <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle>.
- Guía Ambiental para Rellenos Sanitarios (2002). Sistema Nacional Ambiental Colombia . ISBN 958-9487-38-6
- ISO 14040:2009. Publicada por la ISO en 2006. Gestión Ambiental — Análisis del ciclo de vida —Principios y marco de referencia.
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Lee G.F., Jones-Lee A. (2021). Flawed Technology of Subtitle D Landfilling of Municipal Solid Waste. Consultado en <http://www.gfredlee.com>.
- Ley 2/2020, de 7 de febrero, de Evaluación Ambiental de Castilla-La Mancha. [2020/1071]



Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (2011). Ministerio Del Medio Ambiente. Santiago de Chile.

Ley 81 del Medio Ambiente de la República de Cuba (1997). Asamblea Nacional del Poder Popular, IX Período Ordinario de Sesiones de la Cuarta Legislatura

López Vega, Ramírez González y Santos Herrero (2021). Anuario Estadístico de Cuba 2010. Disponible en: Disponible en: http://www.onei.gob.cu/sites/default/files/03_poblacion_2012_sitio.pdf [[Links](#)] (consultado 30 de septiembre de 2021)

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 Atácame, Ecuador.

Oficina Nacional de Normalización. NC 135:2002.Residuos sólidos urbanos. Disposición final. Requisitos higiénicos-sanitarios y ambientales.

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]

Oficina Nacional de Normalización. NC ISO-14031: Gestión ambiental. Evaluación del Desempeño Ambiental-Directrices. 2005

Oficina Nacional de Normalización. NC ISO-14001: 2015 Sistemas de gestión ambiental- Requisitos con orientación para su uso.

Portillo, R. (2020). Indicadores ambientales: qué son, tipos y ejemplos. <https://www.ecologiaverde.com/> (consultado en abril de 2021).



- Quiroga M. (2009) Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe.
- Real decreto 646/2020 sobre la eliminación de residuos mediante depósito en vertederos: principales novedades. n. 108 Sección “Comentarios legislativos”. ISSN: 1989- 666; NIPO: 832-20-001-3.
- Resolución No. 132/2009: Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental.
- Rodríguez, J.A. (2008). Diagnóstico ambiental cualitativo. Relleno sanitario municipalidad de Santa Rosa de Copán.
- Rodríguez, F., Brito T., Bériz V., (2013). Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales. La Habana, Marzo / 2013. ISBN: 978-959-300-028-4.
- Salas Pinel, F. (s.f). Administración de Empresas Sustentables. Universidad para la cooperación internacional.
- Silva Torres, B.A. (2012). Evaluación ambiental: impacto y daño. Un análisis jurídico desde la perspectiva científica. Universidad de Alicante.
- 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 presentada en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Geográficas. La Habana.
- Velis, C. A., y Brunner, P. H. (2013). Recycling and resource efficiency: it is time for a change from quantity to quality. *Waste Management & Research*, 31(6), 539–540. <http://doi.org>.
- Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Deponieverordnung - DepV (2021)
- West Systems (2020). Monitoreo Ambiental, Vertederos <https://www.westsystems.eu/es/monitoreo-ambiental/vertederos.html>



(<https://blogs.x.uoc.edu/calidad-iso/indicadores-calidad-ambiental-imprescindibles/ISO>,28/09/2015, consultada en septiembre del 2021).

ANEXOS

Anexo 1. Criterio de especialistas.

Encuesta 1: Determinación del coeficiente de competencia del grupo de especialistas inicialmente seleccionado.

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto al grado de relevancia de un sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario. Se necesita antes de realizarle la consulta, como parte del método empírico de investigación: consulta a expertos, determinar su coeficiente de competencia en este tema, a los efectos de reforzar la validez del resultado de la consulta que realizaremos. Por tal motivo, le pedimos que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva posible. Gracias.

Datos generales:

Nombrey apellidos: _____

Cargos que ha ocupado: _____

Cargos que ocupa: _____

Años de experiencia en la profesión: _____

Años de experiencia en la gestión ambiental: _____

Grado científico: _____

Título académico: _____

Pregunta 1: Marque con una cruz (X), en la tabla siguiente, el valor que se corresponde con el grado de conocimientos que usted posee sobre el tema: sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario. Considere que la escala que le presentamos es ascendente.



TABLA 1. Escala para la calificación del conocimiento que usted considera tener acerca del problema que se evalúa.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fuente: Elaborado por el autor.

Pregunta 2:

Realice una autovaloración del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación, ha tenido en su conocimiento y criterio sobre los sistemas de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario. Para ello marque con una cruz (X), según corresponda, en A (alto), M (medio) o B (bajo).

TABLA 2. Calificación de las fuentes de argumentación de acuerdo a la evaluación: A (alto), M (medio), B (bajo).

Fuentes de argumentación.	Grado de influencia de cada una de las fuentes.		
	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Análisis teóricos realizados por usted.			
Su experiencia obtenida.			
Trabajo de autores nacionales.			
Trabajo de autores extranjeros.			
Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero.			
Su intuición.			

Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA 3. Tabla patrón.

Fuentes de argumentación.	Grado de influencia de cada una de las fuentes.		
	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Análisis teórico realizado por usted.	0.3	0.2	0.1
Su experiencia obtenida.	0.5	0.4	0.2
Trabajo de autores nacionales.	0.05	0.04	0.02
Trabajo de autores extranjeros.	0.05	0.04	0.02



Su propio conocimiento del estado del problema de la investigación.	0.05	0.04	0.02
Su intuición.	0.05	0.04	0.02

Fuente: Machín, F.O.(2020).

A continuación se muestra la tabla con la información recopilada de los especialistas a partir del apoyo en los valores de la tabla patrón y el cálculo de los coeficientes de competencia:

TABLA 4. Tabulación de los resultados de la encuesta de selección.

Experto No	Análisis Teórico	Experiencia	Autores Nacionales	Autores Extranjeros	Estado Actual	Intuición	ka	kc	Kc
1	0,2	0,4	0,02	0,04	0,05	0,05	0,76	0,8	0,78
2	0,2	0,5	0,04	0,04	0,05	0,05	0,88	0,9	0,89
3	0,3	0,4	0,04	0,04	0,05	0,05	0,88	0,9	0,89
4	0,2	0,4	0,02	0,04	0,04	0,05	0,75	0,9	0,825
5	0,2	0,4	0,02	0,04	0,05	0,05	0,76	0,9	0,83
6	0,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,38	0,6	0,49
7	0,3	0,4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,86	0,9	0,88
8	0,3	0,5	0,02	0,04	0,05	0,05	0,96	1	0,98
9	0,2	0,4	0,02	0,02	0,04	0,04	0,72	0,8	0,76
10	0,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,38	0,6	0,49
11	0,3	0,5	0,04	0,04	0,05	0,05	0,98	1	0,99
12	0,3	0,4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,86	0,9	0,88
13	0,3	0,5	0,04	0,04	0,05	0,05	0,98	1	0,99

Fuente: Elaborado por el autor.

Anexo 2:

Encuesta 2: La presente encuesta tiene como objetivo someter a su valoración, la propuesta presentada sobre un sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario como parte del tema de tesis de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. Se anexa a esta encuesta dicha



propuesta para que usted la consulte. En las tablas que presentamos a continuación, marque con una X la evaluación que considere tienen los aspectos que le enseñamos acerca de dicha propuesta y que se han definido tres dimensiones:

Dimensión 1: Aplicabilidad del sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

Para su medición se utilizará la siguiente escala:

MA (Medianamente Aplicable)

A (Aplicable)

NA (No aplicable)

No	Aspectos	MA	A	NA
1	Existencia de los requerimientos técnicos y humanos para aplicar el sistema de indicadores.			
2	Claridad y precisión del sistema de indicadores propuesto.			
3	Aceptación de la propuesta por trabajadores de las entidades a fin y de la población en general.			

Dimensión 2: Eficiencia del sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

Escala:

ME (Medianamente Eficiente)

E (Eficiente)

I (Ineficiente)

No	Aspectos	ME	E	I
1	Reducción de las afectaciones a los recursos naturales, entorno social e imagen urbana.			
2	Favorecimiento del logro del carácter educativo de la			



	propuesta.			
3	Favorecimiento del proceso de evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario con la propuesta del sistema de indicadores.			

Dimensión 3: Optimización del sistema de indicadores.

Escala:

MP (Medianamente Pertinente)

P (Pertinente)

NP (No Pertinente)

No	Aspectos	MP	P	NP
1	Si el sistema de indicadores sirve como buen instrumento teórico – práctico para el logro de las metas deseadas.			

TABLA 5. Tabulación de los resultados de los aspectos propuestos a la

Aspectos	Existencia de los requerimientos técnicos y humanos para aplicar el sistema de indicadores.			Claridad y precisión del sistema de indicadores propuesto.			Aceptación de la propuesta por trabajadores de las entidades a fin y de la población en general.		
	MA	A	NA	MA	A	NA	MA	A	NA
1		1			1			1	
2		1		1			1		
3		1			1			1	
4		1			1			1	
5	1				1			1	
6		1			1			1	
7			1	1				1	
8		1		1				1	
9		1			1			1	
10		1		1				1	
11		1			1			1	
Total	1	9	1	4	7	-	1	10	-

SISTEMA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIOS.



consulta de los especialistas sobre la aplicabilidad del sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA 6. Tabulación de los resultados de los aspectos propuestos a la consulta de los especialistas sobre la eficiencia del sistema de indicadores para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.

Aspectos	Reducción de las afectaciones a los recursos naturales, entorno social e imagen urbana.			Favorecimiento del logro del carácter educativo de la propuesta.			Favorecimiento del proceso de evaluación ambiental de los vertederos de relleno sanitario con la propuesta del sistema de indicadores.		
	ME	E	I	ME	E	I	ME	E	I
1		1			1			1	
2		1		1				1	
3		1			1			1	
4		1			1			1	
5		1			1			1	
6		1			1			1	
7		1		1			1		
8		1			1			1	
9		1			1			1	
10		1			1			1	
11		1			1			1	
Total		11		2	9	-	1	10	-

Fuente: Elaborado por el autor.



TABLA 7. Tabulación de los resultados de los aspectos propuestos a la consulta de los especialistas sobre la Optimización del sistema de indicadores:

Aspectos	Si el sistema de indicadores sirve como buen instrumento teórico – práctico para el logro de las metas deseadas.		
Expertos	MP	P	NP
1		1	
2		1	
3		1	
4		1	
5			1
6		1	
7		1	
8		1	
9		1	
10		1	
11		1	
Total	-	10	1

Fuente: Elaborado por el autor.

