

# SISTEMA DE INDICADORES PARA EL DISEÑO DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

Autora: Arletys Matos Díaz

HOLGUÍN 2023



# SISTEMA DE INDICADORES PARA EL DISEÑO DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO

## TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

**Autora: Arletys Matos Díaz**

**Tutora: MSc. Lidia Esther Batista Vázquez (P.I)**

HOLGUÍN 2023



## **PENSAMIENTO**

“Si una persona es perseverante, aunque sea dura de entendimiento, se hará inteligente; y aunque sea débil se transformará en fuerte.”

Leonardo Da Vinci (1452 - 1519)



## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, y mostrarme el camino hacia la superación.



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por sus ánimos y apoyo incondicional.

A mis padres, Leticia y Elio, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

A mi tutora, por siempre tener la paciencia para explicarme y brindarme sus conocimientos.

A mis compañeros de aula por haber contado siempre con su ayuda y apoyo estos 5 años

Muchas gracias.



## RESUMEN

Los vertederos de relleno sanitarios son una de las soluciones más utilizadas a nivel mundial para disposición final de los residuos sólidos. Sin embargo, el incumplimiento de los principios básicos definidos para las etapas de su ciclo de vida, en especial la de diseño, ha dado lugar a importantes deterioros de los recursos naturales y la salud humana. Esto se debe a la carencia de indicadores para dicha fase, a la falta de control por parte de las autoridades ambientales, la mala administración y las insuficientes medidas para su manejo. Por ello, es necesario crear sistemas de indicadores para esta etapa de los rellenos sanitarios, en aras de garantizar un correcto desarrollo de las fases consecutivas de construcción y operación. Para una mayor organización, la propuesta de indicadores fue ordenada en 4 etapas que mostrarán los puntos problemáticos del proceso y ayudarán a caracterizarlos, comprenderlos y confirmarlos. El cumplimiento del objetivo fue posible con la implementación de un sistema de métodos de la investigación científica de naturaleza teórica y empírica. La bibliografía fue acotada según la 7ma edición de la norma APA.



## **ABSTRACT**

The landfills are one of the solutions more used at world level for final disposition of the solid residuals. However, the nonfulfillment of the defined basic principles for the stages of their cycle of life, especially that of design, he/she has given place to important deteriorations of the natural resources and the human health. This is due to the lack of indicators for this phase, to the control lack on the part of the environmental authorities, the bad administration and the insufficient measures for their handling. For it, it is necessary to create systems of indicators for this stage of the sanitary fillers, for the sake of guaranteeing a correct development of the serial phases of construction and operation. For a bigger organization, the proposal of indicators was ordered in 4 phases that will show the problematic points of the process and they will help to characterize them, to understand them and to confirm them. The execution of the objective was possible with the implementation of a system of methods of the scientific investigation of theoretical and empiric nature. The bibliography was delimited according to the 7ma edition of the norm APA.



ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICO METODOLÓGICOS DE LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO.....	7
1.1 Los vertederos de relleno sanitario. Concepto y caracterización general.....	7
1.2 Sistemas de indicadores para el diseño de los vertederos de rellenos sanitarios .....	13
1.3 Experiencias de indicadores para la etapa de diseño de los vertederos de rellenos sanitarios.....	17
Conclusiones del capítulo.....	23
CAPÍTULO II. PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES PARA EL DISEÑO DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO.....	24
2.1 Concepciones metodológicas para la elaboración del sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario.....	24
2.2 Sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario .....	26
2.3 Validación de la factibilidad de la propuesta .....	46
Conclusiones del capítulo.....	49
CONCLUSIONES GENERALES .....	51
RECOMENDACIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍAS .....	53
ANEXOS.....	57

## INTRODUCCIÓN

La excesiva producción de residuos no es un desafío contemporáneo, pues desde la antigüedad las personas buscaban alternativas para encontrar un lugar donde depositar los desechos sin que afectaran su medio circundante. Los vertederos de relleno sanitario (VRS) surgen a partir de esta problemática. En los inicios no se contaban con sitios de disposición final que cumplieran con los requisitos adecuados para evitar los daños a la salud humana, al medio ambiente y a la imagen urbana.

Los rellenos sanitarios tienen una historia que data de los tiempos bíblicos, en investigaciones y documentos en los que se encuentran que, en la antigua capital de Creta, se encontraron trazas de mezclas de basura y fango, así como residuos que habían sido enterrados. En el siglo pasado se registra que se realizaban incineraciones de los desechos ya en todo el mundo y la trituración de estos, comenzó a ser practicada en la década de los veinte. Autores atribuyen la aplicación del método de relleno sanitario, tal como se conoce hoy, a los ingenieros ingleses Dawes y Call quienes los utilizaron por primera vez en Bradford, Inglaterra, en la década de los veinte. En Francia, durante la segunda guerra mundial el ejército de los Estados Unidos practicó el relleno sanitario con maquinaria de almeja, palas de arrastre, excavadoras de cuchara y otros equipos para remover grandes cantidades de sólidos (Morales y otros, 2016).

Los basureros prehistóricos son importantes fuentes de información para arqueólogos y antropólogos. La antigua Roma disponía de recogida municipal de residuos. Pero el primer relleno sanitario municipal se construyó en Fresno a fines de la década de 1930 (Villa, 2023). En este siglo ya los ciudadanos comenzaron a tomar conciencia en el control de residuos. Se comienzan a construir cada vez más vertederos, aunque se torna de gran dificultad encontrar zonas disponibles para establecerlos debido a los parámetros a cumplir para su ubicación. Se desarrollan nuevas técnicas y se toman medidas para su calidad y correcto funcionamiento.

Los términos "tiraderos", "rellenos sanitarios" y "basureros" se utilizan para describir diferentes tipos de sitios de disposición de residuos sólidos. La principal diferencia



radica en el nivel de control, grados de tecnología y de gestión ambiental aplicados en cada uno de ellos. Los basureros son sitios no controlados, mientras que los tiraderos controlados implementan algunas medidas de control y gestión. Los rellenos sanitarios cumplen con estándares ambientales y sanitarios más estrictos, minimizando los impactos negativos en el medio ambiente.

A pesar de los esfuerzos hechos para lograr el cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas en los VRS, la falta de control, la acumulación excesiva y el incumplimiento las actividades necesarias para su funcionamiento adecuado han provocan que estos continúen causando impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Esto a su vez conlleva a la pérdida de recursos potenciales a través de la recuperación de materia prima y energía.

Enterrar residuos en el suelo tiene un impacto en nuestro medio ambiente, incluso cuando se hace de manera controlada. Además de la contaminación visual de las crecientes pilas de desechos; estos lugares afectan la vida silvestre, la naturaleza y por ende, contribuyen al calentamiento global. Son una fuente importante de contaminación, la basura enterrada en los rellenos sanitarios se descompone a un ritmo muy lento y por lo tanto se convierte en un problema a largo plazo para nosotros y para las generaciones futuras (ASECA, 2022).

Los tres problemas ambientales principales con los rellenos sanitarios son las toxinas, los lixiviados y los gases de efecto invernadero. Los desechos orgánicos producen bacterias que descomponen la basura. La basura en descomposición produce sustancias químicas ácidas débiles que se combinan con los líquidos de los desechos para formar lixiviados y gases tóxicos. También hay algunos efectos secundarios como olores nauseabundos, vistas desagradables, infestaciones de plagas, etc. (ASECA, 2022).

Entre las principales limitaciones referidas a los sistemas de indicadores para el diseño de los VRS son, en cuanto a la documentación técnica y legal, en el caso de Cuba, que las normas cubanas como la Ley 81 del Medio Ambiente de la República de Cuba (1997) y la NC 135:2002. Residuos sólidos urbanos. Disposición final. Requisitos



higiénicos-sanitarios y ambientales, están desactualizadas y tiene varias deficiencias en su contenido ya que no están pensadas específicamente para sitios de disposición final como los VRS y mucho menos definen indicadores a medir en etapas de su ciclo de vida como la de diseño. La norma alemana también tiene más de 13 años y su estructura dificulta la comprensión, además del problema de las incongruencias que pueden surgir al realizar la traducción del alemán al español y las diferencias de condiciones entre países como Alemania y Cuba. La Guía para el Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios de 2012 y la NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 tienen más de 12 años, por tanto, también están desactualizadas y no contemplan todos los requisitos necesarios para ejecutar exitosamente la etapa de diseño.

Lo anterior dicho nos lleva a pensar que los vertederos a pesar de ser la solución más factible inevitablemente causan gran cantidad de afectaciones al medio ambiente. Han sido muchas las soluciones buscadas para tratar de mitigarlas, pero la mayoría conduce a otra problemática. A pesar de que para su correcto funcionamiento se deben cumplir principios básicos a la hora de llevar a cabo su diseño, la realidad es otra, debido a la falta de control por parte de la autoridad ambiental, la administración deficiente, el escaso control y la falta de medidas para la gestión de los residuos.

Por todo ello se considera la necesidad de crear sistemas de indicadores para el diseño de los vertederos, que proporcionen la información necesaria para controlar esta fase clave para el correcto funcionamiento de los VRS. No se pueden tomar decisiones por simple intuición. Los indicadores mostrarán los puntos problemáticos del proceso y nos ayudarán a caracterizarlos, comprenderlos y confirmarlos.

Por todo lo anteriormente expuesto, se plantea como **problema científico de la investigación** que: la carencia de herramientas para el diseño de los vertederos de relleno sanitarios limita su adecuada construcción.

Como **objeto de la investigación** se identifican: los vertederos de relleno sanitario; **campo de acción:** sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario.



De acuerdo con lo anterior se define como **objetivo general**: elaborar un sistema de indicadores para el diseño de vertederos de relleno sanitario que favorezcan su construcción en la ciudad de Holguín.

Para dar cumplimiento al objetivo general se plantean como **objetivos específicos**:

1. Sistematizar los fundamentos teóricos y metodológicos de los sistemas de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario.
2. Elaborar un sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario.
3. Valorar la factibilidad de la propuesta del sistema de indicadores.

La **hipótesis** planteada en la investigación es la siguiente: si se elabora un sistema de indicadores objetivo, cuantificable y verificable para el diseño de los vertederos de relleno sanitario se favorecerá su construcción en la ciudad de Holguín.

Para el desarrollo de la investigación fue necesario emplear los siguientes métodos de la investigación científica:

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 la construcción de los vertederos, y cómo se ha comportado a través del tiempo.
- 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 proponer un sistema de indicadores para favorecer el proceso de la construcción de los vertederos y 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 y realizar un análisis histórico del mismo.
- 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 construcción de los vertederos.

Métodos estadísticos:

- Estadístico descriptivo: para organizar y presentar las informaciones derivadas de los procesos del diseño del sistema de indicadores y de la validación de la propuesta (cálculos sencillos, tablas y gráficas estadísticas).
- Estadístico matemáticos: para procesar el resultado de la validación de la propuesta de indicadores

Esta investigación tiene como **aporte** el sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario. Es una **novedad científica** por la incorporación de un sistema de indicadores en el diseño de los vertederos de relleno sanitario que integran en su concepción directrices medio ambientales y técnicas.

La **actualidad** del tema de investigación radica en que 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 al ODS 11 que plantean lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. 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. Además, incide en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 2030 de Cuba, en el eje estratégico V. Recursos naturales y medio ambiente, que tiene



como objetivo general garantizar la protección y el uso racional de los recursos naturales, la conservación de los ecosistemas, y el cuidado del medio ambiente y del patrimonio natural de la nación en beneficio de la sociedad y elevar la calidad ambiental

El informe de la investigación se estructura en dos capítulos. En el primero se muestra el marco teórico referencial que sustentan los sistemas de indicadores en la etapa de diseño de los vertederos de relleno sanitario. En el capítulo 2, se realiza la propuesta de indicadores y se valida su pertinencia a partir de criterios de especialistas. De igual manera se incorporan las conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos.



## **CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICO METODOLÓGICOS DE LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO**

Los vertederos de relleno sanitario han nacido como una de las soluciones más utilizadas a nivel mundial para la disposición final de los residuos generados en las ciudades. Sin embargo, son pocas las experiencias que contemplan estudios de sistemas de indicadores para cada una de las etapas de su ciclo de vida, y específicamente para la correspondiente a su diseño. Por tanto, analizar de este tema, a partir de las experiencias y regulaciones existentes, constituye el objetivo del presente capítulo. Para ello se determinará su alcance y limitaciones.

### **1.1 Los vertederos de relleno sanitario. Concepto y caracterización general**

El concepto de relleno sanitario surgió en la primera parte del siglo XX en distintas ciudades de Estados Unidos e Inglaterra, con el objetivo de controlar los olores y distintos tipos de vectores producidos por la acumulación de basura a cielo abierto. Una ventaja de su implementación es que permitía concentrar en un solo lugar los residuos de una localidad. Se denominó sanitario porque el propósito era cuidar la salud pública, ya que la basura dispersa y acumulada en las calles, usualmente en sitios inapropiados por su cercanía a las viviendas, era fuente de enfermedades (Torri, 2017).

Según el Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010" (Martínez y otros, 2010) se define como:

Técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población". El relleno sanitario cuenta con proyecto de ingeniería, control de ingreso en la puerta, pesaje y no existen segregadores en el sitio.

Quispe (2016) considera que es una instalación o infraestructura que cumple con las condiciones técnicas, sanitarias y ambientales empleadas para la disposición final de



residuos, donde se realiza el esparcimiento, acomodo y compactación de los mismos sobre impermeable, la cobertura con tierra u otro material inerte, el manejo y tratamiento de lixiviados y gases y, el control de vectores con el fin de evitar la contaminación del medio ambiente y proteger la salud de la población.

Según Torri (2017), el relleno sanitario o vertedero es un espacio destinado para la disposición final de los residuos sólidos. Son instalaciones especialmente diseñadas para no causar riesgo para la salud o la seguridad pública, ni perjudicar el ambiente durante su operación o después de su clausura. Podría definirse como una tecnología donde se confina la basura en un área lo más estrecha posible, compactándola para reducir su volumen y cubriéndola con capas de suelo en forma diaria. Con este último concepto coincide la autora y lo asume en el desarrollo de la investigación, pues resume de la manera más acertada las características que identifican un VRS.

El objetivo principal de todo tipo de vertedero es el de almacenar la basura en áreas o terrenos grandes lejos de las ciudades, disponiéndolos en capas de determinado espesor, las cuales se van cubriendo con ciertos materiales aptos para esto. Ellos pueden ser, por ejemplo, arcilla o hule polietileno con ciertas características específicas para este uso, sobre todo para lograr tener un adecuado manejo de los olores y gases que se generan después de cubrir dichos residuos. La operación de los rellenos sanitarios debe estar respaldada por una documentación específica y seguir distintas normas que regulen tanto al personal que labora en el lugar, como aquel encargado de recolectar la basura, así como otros factores que derivan del espacio (SEMARNAT, 2021).

Los vertederos tienen 3 clasificaciones generales; según el tipo de residuo depositado, según el método constructivo y según la técnica de disposición. Según el Real Decreto 646/2020 de España, se clasifican en tres categorías atendiendo al tipo de residuo a depositar:

- Vertederos de residuos inertes: incluye los residuos de la construcción y demolición con ciertas condiciones.



- Vertederos de residuos no peligrosos: se incluyen todos los urbanos e industriales no peligrosos.
- Vertederos de residuos peligrosos: aquí se incluyen los residuos que contengan materiales radioactivos o impliquen algún riesgo biológico.

Para definir el método constructivo de un relleno sanitario existen condiciones básicas que resultan del sitio de emplazamiento seleccionado, considerando lo siguiente:

- Condiciones topográficas.
- Características del suelo.
- Nivel Freático.
- Disponibilidad de material de cobertura

Una vez que se tenga en cuenta esto, los rellenos sanitarios según Torri (2017) atendiendo a sus formas de construcción se clasifican por:

1. Método de celda, zanjas o trincheras:

Esta forma de disposición es apropiada para regiones planas, donde se dispone de una profundidad (Norma Boliviana NB 760 recomienda que como mínimo deba alcanzar los 2 m) y donde el nivel freático se encuentra lo suficientemente profundo como para evitar la contaminación del acuífero. Los residuos sólidos son depositados en celdas o zanjas. La profundidad de las celdas se encuentra limitada por la permeabilidad del suelo, pudiendo alcanzar 7 m de profundidad. Dichas celdas se cubren previamente con una barrera impermeable. Los RSU (residuos sólidos urbanos) se depositan y acomodan dentro de la celda para luego compactarlos. El suelo producto de la excavación es utilizado posteriormente para la cubierta diaria y final.

2. Método en zona o de áreas:

Este método se utiliza en zonas planas, cuando el terreno es inapropiado para la excavación. Los RSU se depositan sobre el suelo original, previamente elevado e impermeabilizado. Las celdas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad. Los RSU se descargan en la base del talud, se compacta y recubre diariamente. El material de cobertura se excava de



las laderas del terreno, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. Otra opción es la utilización de material de cobertura temporal, tales como suelo y geomembranas, las cuales se pueden colocar sobre celdas completas para luego quitar al comenzar con el siguiente nivel o se usa el compost producido por el compostaje de residuos de jardín.

### 3. Método vaguada o depresión:

Este método utiliza vaguadas, barrancos y fosas de relleno suplementario o canteras como zonas de vertido. El control del drenaje superficial es a menudo un factor crítico. Normalmente se comienza el relleno de cada nivel por la cabeza de la vaguada (parte más elevada) y se termina por la boca (parte más baja), para impedir la acumulación de agua en la parte más elevada del vertedero. El método de explotación es el mismo que para los métodos anteriormente. Esta tecnología implica la disponibilidad del material adecuado para la cubrición de cada nivel.

En relación a técnica de disposición, existen tres tipos de rellenos sanitarios, los cuales están en función a la cantidad generada y población:

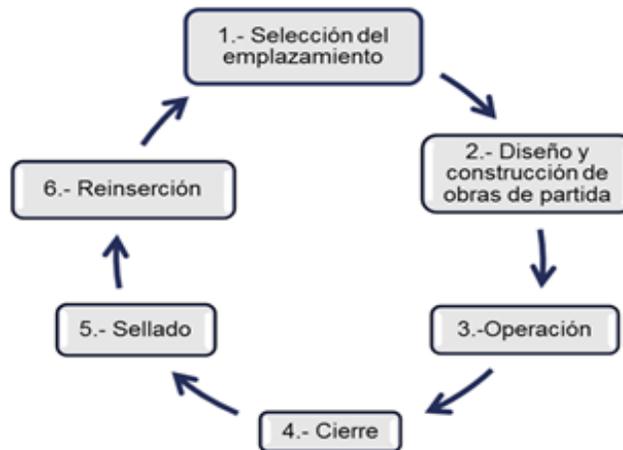
- El relleno sanitario manual: que es un método diseñado para poblaciones menores a 40.000 habitantes, cuya generación de residuos sólidos no exceda de 20 Toneladas/día. La característica principal para la disposición final, radica en el empleo de técnicas y equipo manual.
- El relleno sanitario semimecanizado: es un método diseñado para poblaciones entre 40.000 y 100.000 habitantes cuya generación se encuentre en un rango de 20 a 40 Toneladas/día. La característica principal, radica en el empleo parcial y permanente de técnicas y equipo mecanizado para el compactado y cobertura.
- El relleno mecanizado: es un método diseñado para poblaciones mayores a 100.000 habitantes y cuya generación exceda de las 40 Toneladas/día

(Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios, 2012).



La norma internacional ISO 14040:2009 plantea que el ciclo de vida son etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final. Todas estas fases deben ser tomadas en cuenta, ya que pueden producirse efectos cruzados entre ellas y las medidas adoptadas para reducir el impacto medioambiental en una fase podrían empeorar la otra.

En el caso de los vertederos de relleno sanitario el ciclo de vida está comprendido por seis etapas como se muestra en la figura 1.



**Figura 1. Ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario.**

**Fuente: Batista (2021).**

La segunda de estas, que consiste en la fase de diseño de los vertederos de relleno sanitario, implica una evaluación detallada del sitio y una evaluación de impacto ambiental. Esto incluye la selección de capas de recolección de lixiviados, la implementación de capas de suelo compactado, barreras de arcilla geosintética y sistemas de drenaje. También se considera la capacidad del sitio para manejar el volumen de residuos, la topografía y la proximidad a áreas sensibles como cuerpos de agua y comunidades cercanas. El diseño adecuado del vertedero de relleno sanitario garantiza una eliminación adecuada y segura de todos los tipos de residuos sólidos, y puede reducir los costos operativos a largo plazo.

Las principales componentes de un relleno sanitario se detallan a continuación:

- La fundación del relleno refiere al material con el cual se cubre el terreno una vez que se haya realizado la limpieza del mismo. Dicho material debe tener la capacidad de soportar el peso de los residuos y el material de cobertura que luego serán dispuestos sobre él y las pendientes necesarias para el escurrimiento de los líquidos.
- La barrera impermeable está conformada por material natural y/o sintético y es el material que aísla el relleno del entorno, evitando la migración del lixiviado hacia el subsuelo.
- El sistema de recolección de lixiviados permite su captación a través de drenes y conducirlo hacia la planta de tratamiento por gravedad o a través de una estación de bombeo.
- La planta de tratamiento de lixiviado es diseñada para reducir la concentración de ciertos parámetros para viabilizar el vertido al ambiente, cumpliendo con lo exigido por la reglamentación vigente en efluentes líquidos.
- La capa de cobertura es colocada con frecuencia diaria o similar, encima del residuo compactado con el objetivo de evitar el escape de gases, olores, voladuras y facilitar el desvío de pluviales.
- Los gases generados en la descomposición de los residuos (biogás) son captados por sistemas diseñados para tal fin, ya sea para ventilarlos o conectarlos a un sistema de extracción para su quema o aprovechamiento energético.
- La gestión del agua pluvial del predio se realiza con el objetivo de evitar el escurrimiento hacia el relleno, a través de canales de recolección que descargan en el curso de agua cercano.
- La capa de cobertura final es colocada al finalizar la vida útil, cumple la función de evitar el ingreso de agua pluvial, el escape de gases y de olores.
- La infraestructura conexas incluye control de ingreso, caminería, barreras vegetales, entre otros.



Una vez realizado el diseño del relleno sanitario, sigue la ejecución del proyecto. De hecho, un buen diseño no es suficiente si no existe la voluntad político-administrativa para destinar los recursos necesarios a fin de que sea ejecutado debidamente. La buena construcción de un relleno sanitario es de vital importancia en comparación con la de otras obras públicas, debido a la duración de su ejecución y al permanente mantenimiento que requiere (Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios, 2012).

## **1.2 Sistemas de indicadores para el diseño de los vertederos de rellenos sanitarios**

Los indicadores son medidas cuantitativas o cualitativas utilizadas para evaluar el desempeño o progreso de un proyecto o entidad (Sierra, 2023). Son una característica específica, observable y medible que puede ser usada para mostrar los cambios y progresos que está haciendo un programa hacia el logro de un resultado específico. Deber haber por lo menos un indicador por cada resultado. El indicador debe estar enfocado, y ser claro y específico (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2013).

De acuerdo a Internacional, K. (2022), un indicador es un dato o conjunto de datos que nos ayudan a medir objetivamente la evolución de un sistema. Los indicadores son medios, instrumentos o mecanismos para evaluar hasta qué punto o en qué medida se están logrando los objetivos estratégicos y que a su vez:

- Representan una unidad de medida gerencial que permite evaluar el desempeño de una organización frente a sus metas, objetivos y responsabilidades con los grupos de referencia.
- Producen información para analizar el desempeño de cualquier área de la organización y verificar el cumplimiento de los objetivos en términos de resultados.
- Detectan y prevén desviaciones en el logro de los objetivos.



Cuartin (2020) refleja en su artículo de Lemontech Blog, que los indicadores son unidades de medición que permiten evaluar el rendimiento de los procesos internos de la firma, ya sea para medir la rentabilidad, productividad, calidad de servicio, gestión del tiempo, entre otros. En este sentido, lo que es un indicador de evaluación se puede utilizar para medir el desempeño global del estudio o el desempeño de un área, proceso o persona específica.

La información que proporciona cada tipo de indicador es diferente y su utilidad depende del nivel en que se trabaje. Mientras que los indicadores simples son útiles para detectar impactos concretos y aplicar soluciones parciales, los indicadores complejos proporcionan una comprensión del sistema más global e integrada, aunque esto supone en muchos casos una interpretación de los resultados más complicada y con más restricciones. Entre los dos tipos de indicadores comentados se encuentra una situación intermedia: el sistema de indicadores, que consiste en una recopilación de indicadores simples cuyo resultado se interpreta de manera conjunta (Torres, 2013).

Los sistemas de indicadores son una recopilación de indicadores simples que se estructuran en un modelo de organización concreto de forma que generan una realidad nueva y diferente a partir de la que estudiar un fenómeno. Así, un sistema de indicadores es más que una simple suma de estadísticas pues responde a un interés genérico y de conjunto que hace que la información proporcionada sea mayor y diferente a la que ofrecía cada una de sus partes (Torres, 2013).

Un sistema de indicadores son los datos o conjunto de datos tomados en periodos de tiempo clave, que evalúan el grado de comportamiento o desempeño de una organización o una de sus partes respecto a unos objetivos fijados previamente. Son necesarios para la comprobación de los procesos de seguimiento, medición, análisis y mejora. Sirven para evaluar la conformidad de los productos y procesos, así como estimar la eficacia del sistema de gestión y valorar la eficacia del sistema y de esta forma poder adoptar las decisiones adecuadas para la mejora continua. Son aplicables



a sistemas de gestión de la calidad, medioambiente y prevención de riesgos laborales (Agrícola, 2014)

También Cuartin (2020), y entendiendo que existen tantos posibles indicadores como procesos críticos dentro en una empresa, identifica los siguientes tipos de indicadores que a su criterio son los más relevantes:

- De rentabilidad o financieros: estos son indicadores de gestión que te permiten conocer el desempeño de la actividad económica de la firma. Es decir, si los beneficios obtenidos superan o no los costos invertidos.
- De calidad del servicio: son indicadores que miden los resultados de los procesos de servicio al cliente, para conocer el nivel de satisfacción de este en su experiencia con el estudio de abogados.
- De productividad: son indicadores de proyectos que miden la relación entre la cantidad de carga laboral y el rendimiento individual de cada uno de los miembros de la firma.

Caballero (2015), por otro lado, divide los indicadores en tres etapas:

- Etapa I (a partir de 1980): indicadores de sostenibilidad ambiental de primera generación.

Son los que habitualmente reciben el nombre de indicadores ambientales. Dan cuenta del fenómeno complejo desde un sector productivo, desde la singularidad o un número reducido de dimensiones. Son necesarios, porque de allí se logran diseñar e implementar indicadores ambientales, hasta un nivel de rigurosidad y calidad similar a la de los indicadores económicos y sociales, que habían sido instalados con anterioridad en los países.

Sin embargo, con la progresiva incorporación de otras concepciones su potencia se hizo cada vez menor, y fue necesario pasar a proponer sistemas más complejos y completos.

- Etapa II: indicadores de desarrollo sostenible o de segunda generación.

Corresponde al desarrollo realizado desde el enfoque multidimensional del desarrollo sostenible: diseño e implementación de sistemas de indicadores compuesto por



indicadores de tipo ambiental, social, económico e institucional. Son más vinculantes o agregados, metodologías de agregación que pueden ser medidas, ya sea de tipo índices o monetizadas; comunicacionalmente potentes, pero metodológicamente discutibles; falta de carácter realmente vinculante o sinérgico.

- Etapa III: indicadores de desarrollo sostenible de tercera generación.

Diseñar e implementar estos indicadores constituye producir indicadores vinculantes, en pocas cifras permite tener un acceso rápido a un mundo de significados mucho mayor; incorporado lo económico, social y ambiental en forma transversal y sistemática; número limitado de indicadores vinculantes, que tengan incorporados, potenciándose sinérgicamente, dimensiones y sectores desde su origen; utilidad para el diseño y evaluación de la eficacia de las políticas de sostenibilidad.

Esta tercera generación corresponde al actual desafío en el que se incorporan ingentes iniciativas en el mundo. En este nivel se realizarán los desarrollos científicos más impactantes, en la medida que su utilidad para el diseño y evaluación de la eficacia para las políticas públicas los hace realmente valiosos.

Zendesk (2022) habla sobre cómo evaluar el desempeño de todas las actividades bajo supervisión. Esto se puede hacer de manera cualitativa (logrado vs no logrado) o cuantitativa (expresiones matemáticas, como el porcentaje). Por tanto, se define que en una evaluación de desempeño de la etapa de diseño del vertedero pueden usarse indicadores cuantitativos y cualitativos. Los indicadores cuantitativos miden aspectos numéricos y objetivos. Los indicadores cualitativos miden aspectos subjetivos y no numéricos. Ambos tipos de indicadores son importantes para evaluar el desempeño de un proceso o proyecto y tomar decisiones informadas.

La decisión de seleccionar un indicador cualitativo o cuantitativo depende de la naturaleza del objetivo que se evalúa. Por ejemplo, cuando se mide eficiencia es más apropiado utilizar indicadores cuantitativos. En cambio, cuando se evalúa la sostenibilidad los indicadores cualitativos tienen mayores ventajas. En algunos casos, la combinación de indicadores cuantitativos y cualitativos es necesaria.



También, Kinenergy Internacional (2022), propone en su artículo “¿Qué aspectos medir en un indicador empresarial?”, una serie de indicadores que clasifica en:

- Indicadores de cumplimiento: con base en que el cumplimiento tiene que ver con la conclusión de una tarea. Los indicadores de cumplimiento están relacionados con las razones que indican el grado de consecución de tareas y/o trabajos.
- Indicadores de evaluación: la evaluación tiene que ver con el rendimiento que se obtiene de una tarea, trabajo o proceso. Los indicadores de evaluación están relacionados con las razones y/o los métodos que ayudan a identificar nuestras fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora.
- Indicadores de eficiencia: teniendo en cuenta que eficiencia tiene que ver con la actitud y la capacidad para llevar a cabo un trabajo o una tarea con el mínimo de recursos. Los indicadores de eficiencia están relacionados con las razones que indican los recursos invertidos en la consecución de tareas y/o trabajos.
- Indicadores de eficacia: eficaz tiene que ver con hacer efectivo un intento o propósito. Los indicadores de eficacia están relacionados con las razones que indican capacidad o acierto en la consecución de tareas y/o trabajos.
- Indicadores de gestión: teniendo en cuenta que gestión tiene que ver con administrar y/o establecer acciones concretas para hacer realidad las tareas y/o trabajos programados y planificados. Los indicadores de gestión están relacionados con las razones que permiten administrar realmente un proceso.

### **1.3 Experiencias de indicadores para la etapa de diseño de los vertederos de rellenos sanitarios**

Existen varias referencias que discuten indicadores para el diseño de rellenos sanitarios. En Perú, el Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos del Ámbito Municipal (2006) hace un estudio detallado de todas las fases del ciclo de vida del vertedero de relleno sanitario. Aunque esté desactualizado, se toma como experiencia para la investigación en cuestión porque se considera que, la información que brinda desde los artículos del



29 al 49, es de importancia cualitativa y cuantitativa de la fase de diseño, entre los indicadores mencionados están:

- Clasificación de infraestructuras de disposición final
- Vías de acceso
- Barrera sanitaria
- Distribución del área
- Impermeabilización de la base de la infraestructura
- Taludes
- Celdas
- Material de cobertura
- Espesor de cobertura
- Drenaje de aguas superficiales
- Canal de drenaje pluvial
- Drenaje de gases
- Chimeneas
- Drenaje de lixiviados
- Tratamiento de lixiviados
- Recirculación de lixiviados
- Cartel de Identificación
- Instalaciones auxiliares
- Dispositivos de Seguridad
- Uso futuro
- Costos y presupuestos

Este documento es uno de los que mayor cantidad e información precisa brinda para la elaboración de indicadores, pero se debe corroborar la información dada en el con fuentes más actualizadas ya que el documento tiene más de 15 años de creación.

El Decreto alemán para vertederos y sitios de disposición final (Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Deponieverordnung- DepV), que está en vigor desde 2009 se ha actualizado varias veces durante los últimos años y se ha adaptado a la



legislación de la Unión Europea en evolución. El mismo define cada una de las actividades que conforman las etapas del ciclo de vida de las diferentes clases de vertederos y expone parámetros a verificar en diferentes vertederos y etapas de su vida, entre ellos:

- Estudio previo del sitio donde se construirá el vertedero, considerando aspectos como la topografía, la geología, la hidrología, la climatología y la cercanía a zonas pobladas.
- Diseño de sistema de drenaje para evitar la acumulación de lixiviados y la contaminación del suelo y las aguas subterráneas.
- Diseño de celda de disposición final adecuada, con una base impermeable y un sistema de recolección de gases.
- Diseñar un plan de monitoreo y seguimiento para evaluar el impacto ambiental del vertedero y garantizar su correcta operación.

Los indicadores establecidos contienen los valores o rangos permitidos para cada clase de vertedero de acuerdo a la clasificación y los parámetros a medir tanto en los residuos sólidos como líquidos. Este decreto, aunque no está dedicado específicamente a la fase de diseño, establece cómo se debe diseñar, bajo qué criterios, los materiales a utilizar, las regulaciones para cada especificación, así como los indicadores físicos-químicos a medir. Por tanto, contribuye a una correcta herramienta para la creación de indicadores de esta etapa.

En Australia el documento "Directrices medioambientales. Vertederos de residuos sólidos" de la Autoridad de Protección Ambiental (EPA) (2017) proporciona una guía para la gestión ambientalmente responsable de los vertederos de residuos sólidos.

Algunos de los aspectos que se tratan en el documento incluyen:

- Requerimientos técnicos y ambientales para la selección de sitios de vertederos.
- Diseño del sistema de barrera contra lixiviados
- Geomembranas
- Revestimientos de arcilla geo sintética



- Capas de drenaje de grava
- Tuberías de recogida
- Geotextiles de protección y de separación

Aunque el documento no se centra específicamente en los indicadores para la fase de diseño de los vertederos, proporciona información valiosa para la elaboración de indicadores de esta etapa, sobre todo lo referente al diseño de la barrera impermeabilizante, la cual viene detallada con indicadores cuantitativos. Por estas razones también constituirá uno de los referentes para la elaboración de la propuesta del sistema de indicadores de la presente investigación.

La Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios de Bolivia (2012) brinda una serie de experiencias y recomendaciones para la construcción y operación de un relleno sanitario. En cuanto a la fase de diseño del vertedero, la guía aborda los siguientes aspectos:

- Métodos de Construcción del Relleno Sanitario
- Cálculo de capacidad volumétrica de la celda
- Diseño de la celda diaria
- Diseño del sistema de drenaje pluvial
- Lixiviados, Manejo y Tratamiento
- Gases, Manejo y Tratamiento
- Otros aspectos a diseñar como...

Esta guía es una herramienta útil para la elaboración de indicadores de diseños de vertederos porque proporciona información detallada y práctica sobre los aspectos clave que deben considerarse en la etapa.

La "Guía Ubicación, diseño, operación y rehabilitación de vertederos" (2015) del Estado de Queensland en Australia, habla sobre la ubicación, diseño, operación y rehabilitación de los vertederos, y proporciona información sobre la fase de diseño de los vertederos. Algunos de los aspectos que se tratan en la guía en la Sección 5 que habla sobre emplazamiento y diseño son:



- Requerimientos técnicos y ambientales para la selección de sitios de vertederos.
- Diseño del sitio
- Diseño de revestimiento
- Recolección de lixiviados
- Administración del Agua.
- Gas de vertedero

Esta guía a pesar de tener información útil se centra en el desarrollo, operación y rehabilitación de una instalación de eliminación de residuos en Queensland, y específicamente solo en la actividad ambientalmente relevante. Esta directriz se refiere a la eliminación de desechos en un vertedero y no aborda a fondo el diseño, operación o gestión de ninguna actividad que no sea de eliminación de desechos.

En Uruguay, Robano (2017), proporciona información cuantitativa sobre los indicadores para la fase de diseño de los vertederos. La guía se enfoca en la localización, diseño, construcción, operación y clausura de los vertederos de residuos sólidos. Algunos de los aspectos que se tratan en la fase de diseño de la guía incluyen:

- Información de base del sitio
- Definiciones y cálculos básicos
- Componentes del relleno sanitario.
- Infraestructura conexas
- Infraestructura de control ambiental

La guía proporciona información cuantitativa y cualitativa sobre los indicadores para la fase de diseño de los vertederos, incluyendo indicadores relacionados con la capacidad del sitio, la altura del vertedero, la pendiente del talud, la capacidad de almacenamiento de lixiviados, la capacidad de almacenamiento de residuos, entre otros. Puede ser utilizada como referencia para la implementación de indicadores en la fase de diseño de los vertederos. La autora la considera este documento como guía principal para la realización del sistema de indicadores de la presente investigación.



A nivel provincial, Batista (2018), realizó una evaluación ambiental (EA) del vertedero de relleno sanitario “Alcides Pino I” en la ciudad de Holguín, a través del análisis de su ciclo de vida, con el objetivo de identificar las deficientes prácticas. Se describen problemas en la fase de diseño, como la falta de preparación adecuada en la superficie del terreno para garantizar la impermeabilidad requerida, la erosión de la capa de arcilla, la falta de servicios auxiliares para los trabajadores, y deficiencia en el cercado, la señalización, la accesibilidad y la falta de un sistema de desviación de pluviales. A causa de todas las deficiencias encontradas se propuso la reubicación del vertedero y se plantean una serie de regulaciones a cumplir que se pueden tomar en cuenta para la realización de indicadores para la fase de diseño.

Batista (2021) realiza una "Propuesta de procedimiento para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario" a partir de la integración de los indicadores ambientales de la normativa alemana para vertederos. En este procedimiento, se considera la fase de diseño del vertedero y se tiene en cuenta 5 actividades en la fase de diseño que son:

Actividad 1. Controlar la preparación de la superficie del terreno para que tenga la impermeabilidad requerida.

Actividad 2. Chequear la disponibilidad de servicios auxiliares para los trabajadores.

Actividad 3. Verificar que se cuente con una puerta de entrada e identificación visible en la misma, y con camino de acceso.

Actividad 4. Determinar si el vertedero está cercado y en qué condiciones.

Actividad 5. Precisar si existe un sistema de desviación de pluviales, y de sistemas de drenaje y recolección de las aguas superficiales y subterráneas.

En estas actividades utilizan como referentes los indicadores de la normativa alemana para vertederos y sitios de disposición final del (2009), sin embargo, este documento al no especializarse en la fase de diseño no brinda toda la información necesaria.

Rodríguez (2022) en su tesis sobre los “Sistema de indicadores para el inventario del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario” desarrolla un sistema de indicadores de manera que permita identificar las deficiencias en las etapas más



importantes de su ciclo de vida. Si bien no menciona específicamente el diseño como una etapa a evaluar destina una de las fases a la “caracterización del área en estudio y diagnóstico ambiental”, en la cual menciona los siguientes aspectos:

- Ubicación.
- Capacidad.
- Tiempo aproximado de explotación.
- Tipo de relleno.
- Distancia a fuentes acuíferas.
- Distancia a asentamientos humanos.
- Características de la flora y fauna circundante.

Dichos aspectos también son tomados en cuenta en la fase inicial del diseño destinada a los estudios previos.

### **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 el diseño de los vertederos de relleno sanitario. 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 esta etapa del ciclo de vida de dichas instalaciones para la disposición de residuos.



## **CAPÍTULO II. PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES PARA EL DISEÑO DE LOS VERTEDEROS DE RELLENO SANITARIO**

Luego de analizar experiencias extranjeras y nacionales expuestas en el capítulo precedente, surge la necesidad de desarrollar un sistema de indicadores (SI) para la fase de diseño de los vertederos de relleno sanitario. El objetivo será que sean lo más precisos posibles para lograr un criterio claro, objetivo, cuantificable y verificable. Se muestran en 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 el diseño de los vertederos de relleno sanitario**

Para la realización de la presente propuesta del sistema de indicadores, resulta imprescindible definir los fundamentos científicos y analizar las concepciones metodológicas al ofrecer las posibles soluciones. Para esta investigación se asumirán la mayoría de las pautas de la fase diseño de la “Guía y pautas técnicas para localización, diseño, construcción, operación y clausura de rellenos sanitarios de residuos sólidos” de 2017 adaptándolas al sistema de indicadores presente y se agregaron otras que se consideraron necesarias a criterio de la autora. Además, se tomarán en cuenta varias de las especificaciones que propone en Australia el documento “Directrices medioambientales. Vertederos de residuos sólidos” de la Autoridad de Protección Ambiental (EPA) de 2017 ya que es una de las más actualizadas en el tema y brinda una amplia información cuantitativa. También, se considerarán claves el análisis de las siguientes dimensiones:

- Dimensión ambiental:

De manera general se le puede entender como el sistema natural o transformado en que vive la humanidad, con todos sus aspectos sociales y biofísicos y las relaciones entre ellos. Constituye uno de los ejes principales porque garantizar la protección del medio ambiente y la sostenibilidad del desarrollo. La dimensión ambiental permite la vinculación de los sectores sociales y empresariales para plantear estrategias que



permitan hacer un uso razonable de los recursos naturales y alcanzar un desarrollo sustentable. Implica la existencia de espacios ambientalmente sostenibles, o sea, con estructuras ambientales óptimamente funcionales, una reproducción adecuada de los recursos y servicios ambientales y una degradación ambiental mínima (Mateo, 2015). Influye en el mejoramiento de la calidad de vida de los residentes y la imagen urbana, a través del uso óptimo de los recursos naturales.

- Dimensión institucional:

Es un instrumento técnico y normativo de planeación y gestión del territorio; conformado por un conjunto de acciones y políticas, administrativas y de planeación física, que orientan el desarrollo del territorio municipal en el corto, mediano y largo plazo, regulando la utilización, ocupación y transformación del espacio físico urbano y rural. Tiene en cuenta los factores involucrados en el estudio, considerando las instituciones ya que el adecuado desempeño ambiental debe ser tanto interés de la población como de ellas. Es necesario el interés del Gobierno Provincial y Municipal, el trabajo conjunto de las entidades responsables del medio ambiente y el manejo de residuos sólidos (CITMA, el Instituto de Planificación Física, las Empresas Recuperadoras de Materias Primas y la Unidad Presupuestada de Servicios Comunes) para la calidad en la información y procedimientos establecidos.

- Dimensión participativa:

Será necesario desarrollar el compromiso de los factores involucrados y de los habitantes para la protección del medio ambiente y hacer cumplir las evaluaciones establecidas. Es necesaria la concientización de todos para lograr con éxito la relación entre ellos y el adecuado desempeño ambiental y asignar responsabilidades y funciones a las autoridades locales para garantizar la recolección, transporte y eliminación de los residuos urbanos, a partir de:

- Comités de seguimiento: se pueden crear comités de seguimiento para el diseño, construcción y operación del vertedero de relleno sanitario, integrados por representantes de la comunidad y otros actores relevantes.



- Talleres y capacitaciones: se pueden realizar talleres y capacitaciones para informar a la comunidad y otros actores relevantes sobre el vertedero de relleno sanitario, y para recopilar sus opiniones y sugerencias.
- Divulgación de información: se puede divulgar información clara y accesible, para que la comunidad y otros actores relevantes puedan conocer y comprender el proceso.
- Dimensión legal:

Es imprescindible partir de lo establecido actualmente en normas y las diferentes leyes dirigidas a la SI en vertederos para identificar las deficiencias en cuanto a indicadores ambientales a medir durante el proceso. Los reglamentos de rellenos sanitarios municipales incluyen normas detalladas para la ubicación, diseño, operación, mantenimiento, cierre y pos cierre, garantías financieras, monitoreo de aguas subterráneas y medidas correctivas. Además, se debe contar con la documentación de partida que avale estén establecidas todas las condiciones necesarias para contar con un SI exitoso en el vertedero.

Esta dimensión a su vez está estrechamente relacionada con la dimensión ambiental pues su incumplimiento traería de inmediato la proliferación de problemas asociados a impactos ambientales, y además tiene que ver con la dimensión institucional, ya que estos organismos son los máximos encargados de emitir estos documentos de autorización y de llevar a cabo los estudios necesarios para ello.

## **2.2 Sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario**

La creación de un sistema de indicadores para el diseño de vertederos de relleno sanitario es una tarea importante para garantizar la protección del medio ambiente y la sostenibilidad del desarrollo. Este sistema de indicadores agrupará las principales actividades y requisitos que deben garantizarse en la etapa de diseño de los vertederos de relleno sanitario, y para un mejor entendimiento y aplicación de los mismos, se dividirán en cuatro grandes etapas: información de base del sitio, definiciones y cálculos básicos, componentes del relleno sanitario e infraestructura conexas.



Cada una de estas etapas tiene un papel importante en el diseño de un vertedero de relleno sanitario sostenible y eficiente. La información de base del sitio es fundamental para conocer las características del terreno y su entorno. Las definiciones y cálculos básicos son necesarios para determinar la capacidad y vida útil del vertedero, así como para establecer los parámetros de operación y mantenimiento. Los componentes del relleno sanitario, como la celda de disposición, la barrera contra lixiviados y el sistema de drenaje, son fundamentales para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública. Finalmente, la infraestructura conexas, incluye una serie de instalaciones y servicios necesarios para garantizar su eficiencia y el confort de los empleados.

Etapa 1. Información de base del sitio.

Parte de la información de base es generada la fase de emplazamiento, luego se complementa con la información de los estudios previos al diseño. Estos estudios se realizan con el objetivo de determinar:

- la permeabilidad y espesor de la capa que oficiará de barrera para los contaminantes,
- la existencia de fallas geológicas o zonas de alta permeabilidad,
- la cantidad disponible de material de cobertura,
- la capacidad soporte del material de base,
- la estabilidad de los taludes,
- régimen de flujo subterráneo, particularmente la identificación de la existencia de zonas de recargas de acuíferos,
- línea de base de la calidad del agua superficial y subterránea.
- la hidrología superficial del predio
- posibles afectaciones a vecinos cercanos

1. Documentación:

En el caso de informes de diseño de vertederos y la documentación de garantía de calidad de la construcción para obras importantes de vertederos, la persona responsable debe ser un ingeniero, como un ingeniero civil o geotécnico,



preferiblemente con experiencia de al menos 5 años en diseño y construcción de VRS y que esté actualmente ejerciendo de manera competente en este campo.

## 2. Tipos de residuos a disponer en el relleno:

Para realizar el diseño de un VRS lo primero es especificar qué tipo de residuos serán dispuestos en este, para luego definir la clasificación del vertedero según el tipo de residuo a depositar. La presente propuesta de sistemas de indicadores se acoge a la clasificación propuesta en el Decreto 646/2020 de España, se clasifican en tres categorías atendiendo al tipo de residuo a depositar:

- Vertederos de residuos inertes: incluye los residuos de la construcción y demolición con ciertas condiciones.
- Vertederos de residuos no peligrosos: se incluyen todos los urbanos e industriales no peligrosos.
- Vertederos de residuos peligrosos: aquí se incluyen los residuos que contengan materiales radioactivos o impliquen algún riesgo biológico.

Un vertedero podrá estar clasificado en más de una de las categorías, siempre que disponga de celdas independientes que cumplan los requisitos especificados para cada clase de vertedero.

## 3. Clasificación de los VRS según los residuos a disponer:

La cantidad de residuos a disponer en cada año (medidos en kg) se calcula como el producto de la población a servir ( $Pob$ ), por la tasa de generación (tasa en  $\frac{kg}{hab*día}$ ), por  $365\frac{día}{año}$ . El total de residuos a disponer ( $TR$ ) es la suma de dicho producto para cada año ( $i$ ) a lo largo de la vida útil del proyecto.

### **Fórmula 1. Cantidad de residuos a disponer en cada año.**

$$TR(kg) = \sum_{i=1}^{i=vida\ útil} (Pob * tasa * 365)i$$

### **Fuente. Robano (2017).**

Para el cálculo es necesario proyectar tanto el crecimiento de la población como la variación de la tasa de generación de residuos para cada año, desde el inicio del proyecto hasta los años de vida útil. Se debe de tener claramente delimitada la zona



geográfica a la que servirá el relleno sanitario para los distintos años de su vida útil, con el fin de calcular la población a servir.

#### 4. Descripción del entorno:

Una vez elegido el sitio según los criterios evaluados en la fase de emplazamiento, se debe dar una descripción del entorno en la que se brinde información sobre:

- El entorno social y demográfico: se refiere a las características de la población y su entorno social, como la densidad poblacional, la composición demográfica, la actividad económica, entre otros factores que pueden influir en la generación y gestión de residuos sólidos.
- Referentes locales: se refiere a las normas y regulaciones locales que rigen la gestión de residuos sólidos, así como a las prácticas y costumbres locales que pueden influir en la generación y gestión de residuos sólidos.
- Usos del suelo: se refiere a la forma en que se utiliza el suelo en la zona donde se encuentra el vertedero, como la presencia de áreas urbanas, rurales, industriales, agrícolas y cómo esto puede influir en la generación y gestión de residuos sólidos.
- Accesibilidad: se refiere a la facilidad o dificultad para acceder al vertedero, lo cual determina si es necesario o no la construcción de nuevos caminos o reforzar las vías existentes, y puede influir en la frecuencia y el costo del transporte de residuos y en la capacidad de gestión del vertedero.

#### 5. Estudio geológico:

El estudio geológico evalúa la estabilidad del terreno, la capacidad de soporte del suelo. Debe dar información sobre; la estabilidad de las laderas, la presencia de fallas o fracturas, la erosión, la presencia de suelos expansivos o colapsables, la susceptibilidad a fenómenos naturales como terremotos o deslizamientos de tierra, formaciones geológicas existentes con sus principales características (conductividad hidráulica, excavabilidad, índice de plasticidad) a escala 1/200.000 y la ubicación de los cateos realizados. Para dichos estudios se debe tomar al menos 3 muestras geológicas para evaluar la estabilidad del terreno y la capacidad de soporte del suelo.



Se deben tener planos con cortes y se informan los espesores y profundidades de las distintas formaciones geológicas.

#### 6. Estudio hidrogeológico:

El estudio hidrológico gestiona las aguas superficiales y subterráneas, las cuales deben ser desviadas para minimizar el aporte de aguas al relleno y así minimizar la generación de lixiviados. Evalúa la vulnerabilidad del acuífero y la necesidad de implementar medidas de control de lixiviados. Determina las cuencas que involucran al predio y el punto de vertido del lixiviado tratado. Identifica las corrientes hídricas superficiales.

El estudio hidrogeológico gestiona las aguas subterráneas. Contiene información sobre la presencia o no de agua subterránea, los sentidos de flujo de estas, el mapa con niveles piezométricos y el tipo de acuífero. Determina el nivel freático (épocas de verano e invierno) Esta información es usada para definir la profundidad de las celdas (dependiendo del nivel freático), el tipo de relleno a diseñar, la ubicación y características de los pozos de monitoreo de la calidad de agua subterránea. Se recomienda también realizar pruebas de percolación para evaluar la capacidad de infiltración del suelo

#### 7. Relevamiento topográfico:

El estudio y revelamiento topográfico permitirá diseñar el relleno sanitario con lo cual se podrá definir la apariencia final del proyecto y realizar el balance de materiales. La topografía debe estar preferiblemente referida a un origen de coordenadas centro u oeste. Debe contener la información sobre las curvas de nivel cada 1m en todo el predio. El estudio topográfico debe localizar toda servidumbre que contenga el terreno; como cuerpos de agua, cercas y zonas boscosas.

Se deben compatibilizar los niveles del proyecto del relleno sanitario con el levantamiento planimétrico y altimétrico y las dimensiones del terreno, de manera que se puedan seleccionar y diseñar los frentes de trabajo, establecer métodos de operación, determinar la capacidad volumétrica, ubicar el material disponible para efectuar trabajos de rellenos y de cobertura. Se debe realizar un levantamiento del



área de influencia y determinar las vías de acceso y las características urbanísticas del entorno. Se debe buscar minimizar los movimientos de tierra y minimizar la necesidad de bombeos del lixiviado y la afectación al relleno por las escorrentías de los excesos de lluvia.

#### 8. Recopilación de datos meteorológicos:

La información meteorológica debe dar información de la temperatura, precipitaciones medias anuales, la humedad relativa, direcciones y velocidades de vientos predominantes y evaporación media anual. La precipitación anual y la evaporación son útiles para realizar balances hídricos al relleno, para calcular la generación de lixiviados y los escurrimientos superficiales. Los vientos predominantes permiten identificar hacia donde se contaminantes atmosféricos emitidos, sea por el propio relleno, las antorchas, las máquinas, y diseñar las barreras para mitigar estos impactos. Se recomienda utilizar sistemas de información geográfica para evaluar la distribución espacial de los datos meteorológicos y su relación con la generación y gestión de residuos sólidos.

#### Etapa 2. Definiciones y cálculos básicos.

##### 1. Residuos admisibles y no admisibles:

Los criterios de admisión son los que dictan que tipo de residuos serán admitidos y cuales no en el VRS. Estos criterios pueden variar según la normativa de cada país o región y según el tipo de vertedero. Se deben usar la NC 135 2002 RSU Disposición Final como guía. Se debe formar al personal para reconocer, manipular y aislar residuos peligrosos u otros residuos no autorizados que lleguen al vertedero de modo que se puedan tomar decisiones sobre su gestión adecuadas. El ocupante debe asegurarse de que se cumplan todos los requisitos reglamentarios en la gestión de residuos.

##### 2. Características de los residuos a disponer:

Para realizar la correcta caracterización de los residuos se identificar las fuentes de generación de los residuos y la cantidad generada. Luego se seleccionará una muestra representativa de los residuos para un análisis químico con el cual se definirá su



clasificación y componentes principales. Este proceso determinará el nivel de toxicidad de los residuos y ayudará a definir que tratamientos previos serán necesarios para reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

3. Estimación de la cantidad de residuos a disponer:

En términos generales en Cuba la tasa de crecimiento de población es baja, por lo cual puede darse que para una localidad la población no varíe prácticamente, o bien disminuya. Por otra parte, se debe tener en cuenta que si se trata de localidades con fuerte presencia de turistas la población puede variar considerablemente a lo largo del año.

4. Método de operación:

El modo de operación depende directamente de la clasificación del vertedero; manual, mecanizado o semimecanizado. En el caso de los VRS manuales antes de tomar la decisión de construirlo es necesario que se evalúen alternativas de sitios cercanos a donde enviar los residuos. Se requiere de personal capacitado para la operación de la maquinaria y equipos utilizados en ambos casos.

**TABLA 1. Tabla de clasificación de los VRS atendiendo el modo de operación.**

Tipo de VRS	Fuerza de trabajo	Volumen de residuos generado por día	Tipo de maquinaria recomendada	Compactación alcanzada
Relleno sanitario manual	8 – 10 hombres jornadas de 8h	Hasta 16 ton/día	-	-
Rellenos sanitarios semimecanizados	1-2	16 y 40 ton/día	Pala combinada	300 kg/m <sup>3</sup> - 600 kg/m <sup>3</sup>
Rellenos sanitarios mecanizados	2-5	Más de 40 ton/día	Topador sobre orugas. Compactador de residuos. Pala combinada sobre orugas. Pala combinada sobre neumáticos.	600 kg/m <sup>3</sup> - 1000 kg/m <sup>3</sup>

**Fuente. Robano (2017).**



#### 5. Estaciones de transferencia:

La estación de transferencia (ET) es una instalación donde se reciben los residuos transportados desde los circuitos de recolección, su función es optimizar el transporte de los residuos en largas distancias. Se recomienda una estación de transferencia por cada 50t de residuos generados al día, con una capacidad de almacenamiento de al menos 12h de residuos. Además, se recomienda que la distancia entre la estación de transferencia y el vertedero no sea mayor a 50 kilómetros y menor de 25km y se ubique a menos de 10 km del centro de masa de generación.

La ET debe ser techada para evitar el contacto de agua pluvial con los residuos y evitar voladuras. La misma puede tener o no compactación de residuos, dependiendo de la cantidad de residuos a transportar y la distancia.

El diseño de la estación de transferencia deberá considerar la reducción de impactos en el entorno circundante. Entre los aspectos a tener en cuenta están; manejo de líquidos escurridos de los residuos y aguas de lavado, reducción de ruido, reducción de polvo y olores y control de vectores.

#### 6. Plan de llenado:

El plan de llenado es el cronograma de llenado del área dentro del sitio destinada a disponer residuos, establece el lugar físico por donde se comienza a depositar los residuos y cómo se continúa. El área destinada a recibir residuos se divide en fases o en módulos. De acuerdo a la vida útil y al tamaño del relleno, las fases pueden ser 2, 3, 4 o más. Cada fase del relleno se divide en subfases o celdas de operación, cada celda de operación se diseña tomando como criterio un período de uno a varios meses. Esta división permite gestionar en forma diferenciada el agua pluvial que escurre por las celdas con residuos de la que escurre por zonas “limpias “.

#### 7. Diseño de las celdas:

El diseño de una celda de operación en un vertedero de relleno sanitario se realiza con una geometría trapezoidal con taludes laterales 1V:3H. Las celdas cuentan con bermas de contención con drenaje perimetral que impide el ingreso de agua pluvial a la celda y bermas internas para separar el agua pluvial. La celda de operación se



conforma por celdas diarias, que se definen como la unidad básica de operación del relleno sanitario.

Cada celda diaria de residuos se ubica una al lado de otra en forma secuencial para rellenar el sitio y conformar una celda de operación. La tapada o cobertura diaria es la capa de material con la que se cubren los residuos al final del día, en general tiene un espesor de 15 a 20 cm. La cobertura diaria permite evitar el ingreso de agua pluvial, disminuir voladuras y malos olores, disminuir la presencia de vectores, evitar el ingreso de personas en búsqueda de recuperación de materiales, disminuir el escape del biogás y evitar la combustión espontánea.

La cobertura intermedia se utiliza para finalizar la celda operativa, siendo el material de cobertura de baja permeabilidad y se coloca en espesores de 30 cm aproximadamente. El material de cubrición se puede excavar de las paredes o del suelo de la vaguada antes desinstalar el sistema de revestimiento. En caso que no se disponga de suficiente suelo o material para la cubrición intermedia, será necesario importar el material de cubrición, que puede ser compost producido con de residuos de jardín.

#### 8. Previsión de personal:

El personal necesario dependerá del tamaño del VRS, las características y la operativa planteada. La conducción técnica del relleno debería estar a cargo o bajo el asesoramiento de un profesional idóneo en Ingeniería Sanitaria y requerirá el apoyo periódico de un equipo técnico como entre los que se cuentan dibujantes, topógrafos y ayudantes

**TABLA 2. Necesidades de personal según tamaño de relleno.**

Calificación y tareas del personal	Número de personas		
	Relleno pequeño (16 a40 ton/día)	Relleno mediano (40 a 300 ton/día)	Relleno grande (>300 ton/día)
	Compactación semimecanizado	Compactación mecanizada	
Jefe del relleno (ingeniero civil, ingeniero mecánico o tecnólogo ambiental)	1	1	1



Ayudante del jefe del relleno (tecnólogo)	1	1	1
Técnico de laboratorio o químico	0	0	1
Responsable de la balanza	1	1	2
Chofer de compactador	0	1-2	3
Chofer de camión u otra maquinaria necesaria dentro del relleno	1	2-3	3-4
Técnico para reparaciones de vehículos	0	1	1
Ayudante para reparaciones de vehículos	0	1	1
Obreros de relleno con las siguientes tareas: • construcción de chimeneas • limpieza de canales de drenaje y cunetas • mantenimiento de la planta de tratamiento de lixiviados	2	2-3	3-6
Guardia con las siguientes tareas: • Presencia continua sobre el relleno • Prohibir el ingreso de personas no autorizadas • Prohibir y controlar que no ingresen animales al relleno • Registro en la balanza • Avisar el lugar de descarga a los camiones recolectores	3	3-4	4-6

**Fuente. Robano (2017).**

#### 9. Maquinaria necesaria para la operación del relleno:

La maquinaria a seleccionar depende principalmente de la cantidad diaria de residuos, del tipo y tamaño del relleno. Es necesaria para funciones básicas como excavación, tendido, compactación y otras de apoyo como la construcción de caminería temporaria,



construcciones de drenajes, barreras corta fuego y remoción de camiones atracados. Una máquina versátil puede servir para todas las funciones por ejemplo el compactador de relleno sanitario 816F2 (ver Figura 1) facilita operaciones de destrucción física, trituración y desplazamiento de residuos sólidos comunes en las distintas áreas del vertedero. Se recomienda cuantificar el tiempo de operación y mantenimiento de la maquinaria utilizada en el vertedero para evaluar su eficiencia y costo.

**Figura 2. Compactador de relleno sanitario 816F2.**



**Fuente. Sitio web oficial de Cat Company (2023).**

10. Especificaciones para la impermeabilización de base:

El diseño de la barrera impermeabilizante puede variar según el tipo de residuo que vaya a ser depositado en la celda. La base y las paredes de todas las celdas deben estar revestidas con un material duradero de muy baja permeabilidad para formar una barrera entre los desechos y las aguas subterráneas, el suelo y los sustratos. Según las "Directrices medioambientales. Vertederos de residuos sólidos" de la Autoridad de Protección Ambiental (EPA) (2017), la barrera primaria debe incluir los siguientes componentes, de abajo hacia arriba:

- Una subbase compactada de 200 milímetros de espesor para proporcionar una superficie firme al soporte sobre el que instalar el revestimiento.
- Un revestimiento de arcilla compactada de menos de 1000 milímetros de espesor, con una conductividad hidráulica in situ inferior a  $1 \times 10^{-9}$  metros/segundo; Para vertederos que reciben más de 20.000 toneladas de residuos al año, el revestimiento debe incluir una geomembrana sobre la arcilla compactada; el revestimiento base debe tener pendientes superiores a 1% longitudinalmente y al 3% en dirección transversal.
- Una capa de recogida de lixiviados que comprende una capa de drenaje de grava de 300 milímetros de espesor que incluye tuberías de recogida, que desciende hasta un sumidero u otro punto de extracción desde el que se puede transportar el lixiviado desde la celda. Las tuberías deben tener al menos 150 milímetros de diámetro interno, colocarse en el suelo a intervalos de no más de 25 metros (a lo largo de la celda) y colocarse con pendientes de al menos 1% longitudinalmente hacia el sumidero y 3% en direcciones transversales.

Para lograr la conductividad hidráulica in situ requerida de menos de  $1 \times 10^{-9}$  metros/segundo, la arcilla debe tener una alta plasticidad y una distribución adecuada del tamaño de las partículas, sin partículas superiores a 50 milímetros en ninguna dimensión. Las pruebas en origen del material deberían confirmar estas propiedades. Como alternativa a la arcilla compactada, se puede utilizar un revestimiento de arcilla geosintética, siempre que se utilice en combinación con un revestimiento de geomembrana superpuesto. Se debe utilizar un geotextil de protección o cojín para proteger las geomembranas de daños causados por equipos de construcción y materiales superpuestos. Se debe colocar un geotextil de separación encima de la capa de drenaje para reducir la entrada de finos residuos subyacentes. Se puede utilizar un geocompuesto de drenaje Geonet como alternativa a la capa de drenaje de grava para el drenaje de paredes y las capas de detección de fugas.

También puede ser necesaria una capa de alivio de aguas subterráneas debajo de la barrera de lixiviados, donde los altos niveles de agua subterráneas podían afectar la



estabilidad y el desempeño de la barrera. Cuando sea necesario, los materiales utilizados en este sistema deben ser de la misma calidad que los materiales utilizados en la capa de drenaje de lixiviados.

Los elementos de los sistemas de barreras contra lixiviados instalados en taludes deberán tener una adecuada estabilidad de talud. Un análisis de estabilidad de taludes debe demostrar que existen factores de seguridad adecuados para todos los posibles mecanismos de falla (por ejemplo, revestimientos de estabilidad global) en el relieve final propuesto y en las etapas intermedias durante la construcción.

El perímetro exterior en cualquier elevación de todas las celdas de vertederos nuevos debe estar alejados al menos 15m del límite de las instalaciones. Esto tiene como objetivo garantizar que haya terreno disponible para la instalación de pozos de monitoreo y medidas de reducción de penachos (por ejemplo, construcción de barreras) si se descubre que contaminantes líquidos o gaseosos se escapan fuera del sitio.

#### 11. Gestión del lixiviado:

La generación de lixiviados en un vertedero de relleno sanitario se debe a la infiltración de agua de lluvia a través de los residuos y la liberación de líquido debido a la humedad presente en los residuos y a la descomposición de los mismos. El sistema de recolección de lixiviados tiene la función de evacuar hacia afuera del relleno los lixiviados controlando del nivel de lixiviado por encima del paquete impermeable. Las tuberías colectoras de lixiviados deberán:

- ser tuberías flexibles (normalmente polietileno de alta densidad) de al menos 150 milímetros de diámetro interno (los cálculos del equilibrio hídrico y del flujo de la tubería deben confirmar el tamaño necesario de la tubería) para transmitir caudales máximos de lixiviado)
- estar perforado de manera que el tamaño, la frecuencia y la disposición de las perforaciones sean suficientes para facilitar la entrada y extracción de lixiviados sin obstrucciones, evitar la entrada de grava de drenaje y mantener una resistencia adecuada de la tubería



- unirse utilizando técnicas y materiales recomendados por el fabricante de la tubería.

Se recomienda minimizar su generación manteniendo el área de trabajo lo más pequeña posible, separando las aguas que escurren por áreas del relleno no activas de las aguas del frente de trabajo, respetando la planificación de las distintas etapas del relleno y realizando la tapada final de las celdas ya completas. El lixiviado es captado por el sistema de drenes y conducido hacia el sistema de tratamiento. El sistema de recolección de lixiviados consiste en una capa drenante que se extiende de manera uniforme por encima del paquete impermeable y una red de drenes. La red de drenes se coloca de forma longitudinal y transversal y se construye en forma de espina de pescado para favorecer el drenaje de los lixiviados. Los drenes se componen de tuberías perforadas rodeadas de grava envuelta en geotextil para evitar la colmatación.

#### 12. Gestión de biogás:

El biogás es generado por la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos depositados en el relleno sanitario. La gestión del biogás es importante para minimizar las emisiones de gases efecto invernadero y prevenir riesgos de incendio o explosiones.

Los sistemas de control de biogás se clasifican en activos y pasivos. Los sistemas activos inducen el flujo del biogás hacia fuera del relleno mediante la generación de vacío, mientras que los sistemas pasivos aprovechan la presión existente dentro del relleno para evacuar el gas.

Los pozos de extracción se colocan a distancias estimadas y se regulan mediante el ajuste del caudal de succión de gas. Para pozos verticales, las distancias comúnmente utilizadas son entre 30 y 60m. Son ubicados formando triángulos equiláteros, en cada vértice un pozo y la distancia entre pozos igual al radio de influencia. Pueden construirse alternativamente durante el llenado del relleno o una vez finalizado el relleno.

Las especificaciones a considerar en el diseño de pozos verticales de gas incluyen:



- diámetro mínimo de la tubería del pozo de 110 mm.
- sellar la parte superior del pozo de gas desde la superficie del suelo hasta una profundidad de al menos 3 m con bentonita.
- las tuberías deben estar rodeadas por agregados grueso bien redondeado de 4-6 veces el ancho de las ranuras (tamaño agregado de 12-30 mm).
- la mejor configuración de las ranuras es horizontal, es decir, en ángulo recto.

El aprovechamiento del gas depende de la calidad del biogás, la cantidad a extraer y los costos de la gestión. Las máquinas para generar energía pueden ser turbinas o motores, en general estas máquinas requieren como mínimo de un 35% de metano. Otras opciones son; utilizando el gas como combustible en calderas, fabricación de cemento, calefacción residencial y de invernaderos, o como combustible de vehículos. Para analizar la pre factibilidad se debe considerar que el volumen mínimo de residuos que justifica una instalación para quema es de unas 100 ton/día, y para generación de energía eléctrica es de unas 300 ton/día, considerando el precio de la energía eléctrica no menor a 55-60 USD/MWh.

El venteo de gas se realiza cuando la escala del relleno dificulta económicamente la quema o aprovechamiento energético y en casos en que la calidad del gas es muy baja. Para la operación de una antorcha para la quema del metano se necesita una concentración en volumen de por lo menos el 20% de metano. La temperatura de quema recomendada es de 1000 a 1200°C con un tiempo de retención de 0,3 a 0,6 segundos.

### 13. Gestión del agua superficial:

En un vertedero es necesario gestionar el agua de lluvia para evitar afectar los cursos de agua aguas abajo y la operación del vertedero. El diseño de un sistema de manejo de aguas pluviales debe garantizar que las operaciones del vertedero no se vean comprometidas por el drenaje superficial, minimizar la generación de lixiviados, evitar la contaminación de las aguas superficiales por contacto con lixiviados y minimizar el transporte de sólidos. El sistema debe incluir estanques de sedimentación/retención, sistemas de drenaje y drenaje de áreas activas y cerradas. El drenaje de las áreas



activas debe gestionarse con cuidado para minimizar el contacto con los residuos y tratarse como lixiviado. El drenaje de áreas cerradas requiere limpieza y reparación periódicas. Se recomienda también el uso de tecnologías modernas como el Phytocap que es un tipo de cubierta de vertedero que utiliza vegetación para reducir las emisiones de metano y controlar la escorrentía de aguas pluviales.

### Etapa 3. Infraestructura conexa.

Un relleno sanitario generalmente cuenta con otros conceptos de obra e instalaciones como:

- Valla informativa
- Caseta de entrada, control y vigilancia.
- Almacén y oficinas administrativas.
- La báscula y caseta de pesaje
- Los señalamientos viales,
- La cerca perimetral
- Patio de maniobra
- Área de emergencia
- Caseta de vigilancia
- Malla protectora para papeles
- Las bermas de contención,
- Las obras de desvío de aguas pluviales,
- Los talleres para resguardo y mantenimiento de maquinaria,
- La acometida eléctrica, e instalaciones hidráulicas

Según Robano, (2017) se presenta la infraestructura recomendada por tamaño de relleno sanitario para realizar la operación del mismo:

**TABLA 3: Infraestructura recomendada por tamaño de relleno sanitario.**

Infraestructura	Relleno pequeño 16 a 40 ton/día	Relleno grande >300 ton/día	Relleno grande >300 ton/día



Equipo de distribución de residuos y material de cobertura	X	X	X
Equipo compactador de residuos		O	X
Construcción paquete impermeable material natural	X	X	X
Geomembrana		O	X
Captación y tratamiento de lixiviado	X	X	X
Captación de biogás	X	X	X
Venteo de biogás	X		
Quema de biogás	O	X	
Aprovechamiento energético biogás			X
Gestión del agua superficial	X	X	X
Cercado perimetral	X	X	X
Iluminación	X	X	X
Balanza	O	X	X
Lavado de ruedas		O	X
Caminería interna	O	X	X
Barrera vegetal	O	X	X
Zona de amortiguación	O	O	X
Oficinas y vestuarios para personal	O	X	X
Taller mecánico		O	X



Sistema combate incendios	X	X	X
Cobertura diaria	X	X	X

**Nota: O (deseable), X (recomendable), vacío (no necesario).**

**Fuente. Robano (2017).**

1. Acceso al predio y cerco perimetral:

El recinto debe contar con una o más vías de acceso en buen estado y con el ancho y las pendientes adecuadas para permitir el tránsito fluido de los vehículos que transportarán los residuos. El acceso al predio debe ser restringido, para esto se cuenta con una garita y una barrera física alrededor del perímetro del sitio. La garita deberá instalarse en la entrada del sitio o en un punto que no pueda pasarse por alto; puede incluir instalaciones tales como una plataforma de observación, espejos elevados o una cámara de video. Para el cercado perimetral se recomienda que tenga una altura de 1,80 m y un alambrado olímpico o malla metálica con portones de cierre con candado, se deben evitar el uso de alambre de púas.

2. Iluminación:

Se debe proporcionar iluminación en aquellas áreas que tienen funcionamiento de noche. El proyecto debe incluir como mínimo iluminación en: el acceso desde la vía pública al área de recepción del sitio, caminos de acceso a servicios, instalaciones del sitio que requieran mantenimiento en horario nocturno y en el perímetro del sitio si no cuenta con iluminación procedente de la vía pública. Se deben construir las redes e instalaciones eléctricas necesarias para la iluminación de las vías de acceso y frente de trabajo.

3. Cartelería indicativa:

A la entrada de la infraestructura debe colocarse un cartel con dimensiones mínimas de 2,0 metros por 3,0 metros y colocado a una altura de 3,0 metros sobre el nivel del suelo, el mismo que debe contener el nombre de la infraestructura; Propiedad; Número de Registro de EPS-RS; Número de licencia de funcionamiento municipal; Horario de atención y Teléfonos de contacto. También debe haber un cartel que indiquen los



residuos autorizados y no autorizados, uno que advierta a los intrusos que no está permitido el acceso, uno con las medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes y con expresa referencia de las acciones a desarrollar en situaciones de emergencia.

#### 4. Ingreso al relleno:

Todos los ingresos y salidas de camiones deben ser pesados y se debe realizar el registro del peso en forma digital. Se contará con una zona de descarga de residuos de vehículos de pequeño porte y un lavadero de ruedas para impedir que se lleve a la vía pública barro o residuos. Debe haber una caseta de pesaje con una báscula puente en la entrada para facilitar el mantenimiento de registros, en VRS de gran tamaño será necesaria la instalación de dos o más básculas puente, de manera de impedir la acumulación de una gran cantidad de vehículos en la entrada.

#### 5. Sistema de registro:

Para el registro se usará un equipamiento que comprende un detector de residuos radioactivos una balanza, computadoras y sistemas de respaldo de los datos. Se debe instalar y operar una unidad fija de detección de radiación en vertederos que acepten desechos sólidos municipales o desechos de perforación y producción. La báscula puente se recomienda que tenga una capacidad de 60 toneladas y un mínimo de 15m de largo. Esta debe estar en la entrada, al lado de la portería, con una capacidad mínima 50 toneladas. Se recomienda que anualmente se le realicen calibraciones con empresas o instituciones especializadas. Debe tener asociada computadoras y un software para el almacenamiento de datos, estos permitirán evaluar el avance del relleno, la disponibilidad de vida útil y planificar cuando será necesaria la construcción de nuevas celdas.

#### 6. Diseño de Caminos:

En los VRS, se pueden distinguir tres tipos de caminería: el camino principal, la caminería permanente dentro del predio y la caminería temporaria de acceso al frente de trabajo. La caminería debe permitir la circulación en cualquier condición meteorológica. Si la vía pública es pavimentada, se recomienda que la caminería



desde la misma hasta la garita de ingreso o la balanza también lo sea. El diseño de la caminería permanente debe considerar el escurrimiento de pluviales con pendiente menor a 5% hacia uno de los lados del camino. Algunos VRS debido a su diseño escalonado usarán rampas permanentes de acceso. Además, se recomienda que exista caminería permanente en todo el perímetro del predio para permitir un mejor mantenimiento del sitio, mejorar el tráfico interno y permitir la circulación en un solo sentido. Se deben incluir sitios de estacionamiento y señales de tránsito a fin de evitar riesgos de accidentes y guiar a los vehículos.

#### 7. Barrera vegetal y zonas de amortiguamiento:

El VRS debe tener una cortina arbórea, la cual deberá tener como dimensiones mínimas 15m de ancho - 6m de alto. Funcionará como una franja de protección y amortiguamiento ante el ruido, los olores y el polvo. La vegetación debe contener especies vegetales propias de la zona que proporcionen un establecimiento rápido y sostenible y que sobrevivan temporadas subóptimas (como sequías) y ser resilientes. Generalmente se requiere una combinación de diversas especies de pastos, arbustos y árboles. Contribuye a mejorar la estética de la instalación

Se contará con una zona de amortiguamiento la cual deberá tener como mínimo 20m de ancho y una superficie pavimentada o tosca. Se hace con el objetivo de distanciar la zona de disposición de residuos de su perímetro para minimizar la afectación al entorno y también para oficiar de barrera corta fuego.

#### 8. Instalaciones del personal:

El relleno sanitario deberá estar provisto de servicio de agua potable, alcantarillado, electricidad y comunicación, un sistema de fosa séptica y pozo o drenes absorbentes, un sistema generador de electricidad y un sistema de comunicación en base a radio con batería o telefonía móvil. Las oficinas para el personal administrativo y técnico, deben estar equipadas con agua, energía eléctrica, acceso a internet, teléfonos y aire acondicionado. También debe haber instalaciones externas a las oficinas como servicios higiénicos, vestidores, baños y sala de primeros auxilios.

#### 9. Taller mecánico y almacén de combustible:



Se contará con un área o local para el depósito de la maquinaria, herramientas y equipos, que además permita realizar tareas de mantenimiento preventivo y correctivos. Servirá de estacionamiento en los periodos que no se requieran ser utilizadas la maquinaria. Se contará con espacio adecuado para el almacenamiento de combustible y lubricantes. El mismo deberá contar con un sistema de contención secundaria para la contención y captación de posibles derrames.

#### 10. Instalación de combate de incendio:

Se debe elaborar un plan de manejo contra incendios en conjunto con la autoridad de bomberos correspondiente. Se instalan extintores portátiles y un extintor en el frente de trabajo. Considerando que una de las causas más comunes de los incendios superficiales y subterráneos es que se fume en el frente de trabajo, este hábito tiene que estar prohibido. La instalación de un sistema de combate de incendios para los edificios del relleno debe diseñarse en cumplimiento de las normativas nacionales. Todo el equipo contra incendios debe estar claramente señalado y el acceso al mismo debe estar disponible en todo momento.

### **2.3 Validación 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 el diseño 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 7 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:

$$K_c = \frac{1}{2}(k_c + k_a)$$

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 tienen 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 él 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 coeficientes 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 7 especialistas respondieron la primera encuesta (anexo 1). De ellos 2 presentan un coeficiente de competencia superior o igual a 0,8 ( $0,8 \leq K \leq 1$ ), al ser categorizados como especialistas altos; 3 presentan el coeficiente de competencia en este intervalo:  $0,5 \leq K < 0,8$ , por lo que quedan clasificados como especialistas medios; mientras que



1 especialista no resultó seleccionado para aplicarle la segunda encuesta al tener sus coeficientes de competencia inferior a 0,5 (anexo 1 tabla 4). El coeficiente de competencia promedio de los expertos seleccionados resultó de 0.79, 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 6, provenientes de la Dirección Provincial de Servicios Comunes de Holguín (2), el CITMA (3), así como de la Universidad de Holguín (1). 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 el diseño 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 el diseño 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 diseño 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 83% medianamente aplicable para el criterio 1, un 83% aplicable para el criterio 2 y un 83% aplicable para el criterio 3, considerándose la propuesta del sistema de indicadores un 56% 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 67% medianamente eficiente para el criterio 2 y un 100% eficiente para el criterio 3, para un promedio de eficiencia del sistema de indicadores de un 78%.

Dimensión 3: Esta dimensión dirigida a valorar la optimización del sistema de indicadores a través de un solo criterio resultó ser un 83% 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**

Los indicadores propuestos para la creación de la presente propuesta del sistema de indicadores para la fase de diseño de los vertederos de relleno sanitario, es el resultado de la cohesión de experiencias internacionales dedicadas al tema. Si bien representa un referente sujeto a mejoras y modificaciones, constituye una prueba de la innovación que es posible lograr.

La creación de este sistema de indicadores cuantitativos y cualitativos permite medir y evaluar el desempeño del proceso y tomar decisiones informadas para minimizar su impacto ambiental. La evaluación de la factibilidad de estos procedimientos es importante para garantizar su implementación efectiva y mejorar la ejecución de la fase de diseño de los vertederos de relleno sanitario. Mediante el criterio de especialistas



se pudo valorar la factibilidad de la propuesta de procedimiento concluyéndose que los indicadores evaluados fueron considerados óptimos.



## **CONCLUSIONES GENERALES**

1. La sistematización de los fundamentos teóricos y metodológicos de los sistemas de indicadores para la construcción de los vertederos de relleno sanitario demostró que a pesar del desarrollo en ascenso del tema aún son muy pocas las propuestas a nivel nacional e internacional lo que justifica la necesidad de un sistema de indicadores sólido para el diseño de dichas instalaciones y así garantizar una gestión ambientalmente responsable y minimizar su impacto ambiental.
2. El sistema de indicadores para la fase de diseño de los vertederos de relleno sanitario que quedó conformado por cuatro grandes etapas, y teniendo en cuenta las pautas de la "Guía y pautas técnicas para localización, diseño, construcción, operación y clausura de rellenos sanitarios de residuos sólidos" (2017) y las especificaciones del documento "Directrices medioambientales. Vertederos de residuos sólidos" de la Autoridad de Protección Ambiental (EPA) (2017), permitirá evaluar el desempeño del proceso, mejorar su ejecución y reducir su impacto ambiental.
3. La validación de la factibilidad de la propuesta del sistema de indicadores mediante el criterio de expertos demostró que los siete criterios evaluados fueron considerados positivos desde el punto de vista de la aplicabilidad (con un 56%), la eficiencia (78%) y la optimización de la propuesta (83%) y es un aporte muy valioso y necesario, que puede contribuir en gran medida a la eficiencia y sostenibilidad de la gestión de residuos sólidos. Además, que permitió corroborar la hipótesis planteada.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere a:

La Unidad Presupuestada de Servicios Comunes de Holguín:

- Aplicar los resultados de la investigación a los vertederos de la provincia como parte de las actividades de vigilancia y control ambiental.
- Velar por una supervisión constante a las instalaciones de vertederos de rellenos sanitarios para garantizar el cumplimiento de las normas e indicadores.
- 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 su diseño y operación.

Al Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín:

- Mantener la incorporación en el plan de superación, temáticas relacionadas con los sitios de disposición final y la gestión ambiental 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.

A el Instituto de Planificación Física a la Unidad Presupuestaria de Servicios Comunes y al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)

- Abogar por la inclusión del aporte investigativo del sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario en la norma cubana ya que no existe otro documento en el país que hable de este tema tan detalladamente y puede contribuir a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la gestión de residuos sólidos en el país.

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

## BIBLIOGRAFÍAS

1. Agrícola, T. (2014, marzo 12). Sistemas indicadores de calidad – [www.tecnicoagricola.es](http://www.tecnicoagricola.es). Sitio web: <https://www.tecnicoagricola.es/sistemas-indicadores-de-calidad/>
2. ASECA (Asesoría en Saneamiento y Control Ambiental). (2022, Julio 12). La problemática de los rellenos sanitarios. aseca.com. <https://aseca.com/la-problematica-de-los-rellenos-sanitarios/>
3. Batista, V. (2021). Procedimiento para la evaluación ambiental del ciclo de vida de los vertederos de Relleno Sanitario. Universidad de Holguín.
4. Batista, V. (2018). Evaluación Ambiental del vertedero de relleno sanitario “Alcides Pino I” en la ciudad de Holguín. Universidad de Holguín.
5. Boletín Oficial del Estado (BOE-A-2020-7438) Real Decreto 646/2020. (08 de julio de 2020). por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Consultado agosto de 2023, Boe.es Sitio web: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-7438>
6. Cat Company (n.f.). Compactadores de rellenos sanitarios. Modelo 816F serie 2 Compactadora The price, parameters, manufacturers, contact information, subsidies, inquiry \_ Construction Equipment Online. (s/f). Consultado el 10 de agosto de 2023, de Global-ce.com website: <https://spain-mproduct.global-ce.com/roller/cat/tus.html>
7. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2013). Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México. México, DF: CONEVAL.
8. Cuartin, A. (2020, 24 de noviembre). ¿Qué son los indicadores? Ejemplos características y tipos. Lemontech Blog. <https://blog.lemontech.com/que-son-indicadores-ejemplos-caracteristicas-y-tipos/>
9. Decreto alemán para vertederos y sitios de disposición final (Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Deponieverordnung- DepV) (2009)
10. EPA, N. (2017, 29 septiembre). Solid-waste-Landfill-Guidelines-160259. Disponible en: <https://www.epa.nsw.gov.au/publications/waste/solid-waste-landfill-guidelines-160259>

11. Fuentes Caballero, M. (2015). El sistema de indicadores y las herramientas de análisis para el mejoramiento del sistema de gestión del proceso de transportación en la Base de Transporte del C.T.T., CIMEX, Cienfuegos. Tesis de Maestría. Universidad de Cienfuegos.
12. Gutiérrez, V. (2012). Guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios.
13. Internacional, Kinenergy. (2022, abril 27). ¿Qué aspectos medir en un indicador empresarial? <https://www.kin.energy/blogs/post/%C2%BFqu%C3%A9-aspectos-medir-en-un-indicador-empresarial>
14. Ley 81 del Medio Ambiente de la República de Cuba (1997).
15. Martínez Arce et al. (2010). “Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe”, de la Organización Panamericana de Salud, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (OPS/BID/AIDIS-2010)
16. Mateo Rodríguez, J. M. (2015). Planificación y Gestión Ambiental, Universidad de la Habana. Facultad de Geografía, La Habana Cuba, 150 p.
17. Ministerio de Salud & Dirección General de Salud Ambiental. (2006, 31 enero). Resolución Ministerial n.º 109-2006-MINSA: proyecto de Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos del ámbito Municipal: RELLENO SANITARIO. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/251936-109-2006-minsa>
18. MMAyA/VAPSB/DGGIRS/(Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico y su Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos) (2012). Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios.
19. Morales, D., Bello, M. A., & Martínez, Y. (2016). Estado del arte de las investigaciones sobre la disposición de los residuos sólidos en Cundinamarca [Tesis de grado]. Bogotá, D.C.: Universidad La Gran Colombia.
20. Oficina Nacional de Normalización. NC ISO 14040 (2009). Gestión Ambiental — Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. La Habana. Cuba. 2da Edición.

21. Oficina Nacional de Normalización. NC 135:2002. Residuos sólidos urbanos. Disposición final. Requisitos higiénicos-sanitarios y ambientales.
22. Queensland Department of Environment. (2015). Landfill siting, design, operation and rehabilitation.
23. Quispe Mendoza, Max Víctor (2016). Regulación del manejo de residuos sólidos en las unidades educativas del gobierno autónomo municipal de El Alto. Tesis para optar el título académico de Licenciatura en Derecho. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Derecho y Ciencias Políticas Carrera de Derecho. La Paz–Bolivia. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12008/TD%205078.pdf?sequence=1/>
24. Robano, M. (2017). Guía y pautas técnicas para localización, diseño, construcción, operación y clausura de rellenos sanitarios de residuos sólidos.
25. Rodríguez, M. (2022). Sistema de indicadores para el inventario del ciclo de vida de los vertederos de relleno sanitario. Universidad de Holguín.
26. SEMARNAT, página web del Gobierno de Coahuila, Universidad de Sonora, Fundación Azul Ambientalista. (2021) ¿Qué es un relleno sanitario y cómo funciona? (<https://blog.vise.com.mx/que-es-un-relleno-sanitario-y-como-funciona/>)
27. Sierra, Y. (2023, junio 1). ¿Qué son los indicadores? Ejemplos, tipos y para qué sirven. Lemontech Sitio web: <https://blog.lemontech.com/que-son-indicadores-ejemplos-caracteristicas-y-tipos/>
28. Torres Delgado, A. (2013). Los sistemas de indicadores: instrumentos para la medición y gestión de la sostenibilidad turística en España. In Actas del XVI Congreso AECIT. Políticas Activas en Turismo. Respuestas a la singularidad del mercado laboral.
29. Torri, S.I. (2017). ¿Qué es un relleno sanitario? Publicación en línea del Centro de Estudios y Desarrollo de Políticas Públicas, CECePP, <http://cedepp.org.ar/?p=381>
30. Villa, C. (2023, octubre 6). Funcionamiento y beneficios de los rellenos sanitarios: Todo lo que necesitas saber. Recuperado el 7 de octubre de 2023, de Catalina Villa - Tu guía para una vida más eco-amigable Sitio web: <https://villacatalina.com.ar/funcionamiento-y-beneficios-de-los-rellenos-sanitarios-todo-lo-que-necesitas-saber/>

31.VISE. (2021). ¿Qué es un relleno sanitario y cómo funciona? VISE:  
<https://blog.vise.com.mx/quees-un-relleno-sanitario-y-como-funciona>

32.Zendesk. (n.f.). ¿Cuáles son los indicadores de gestión que no puedes ignorar?  
Consultado el 10 de agosto de 2023, Blog de Zendesk sitio web:  
<https://www.zendesk.com.mx/blog/tags/article/>

## 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 el diseño 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: \_\_\_\_\_

Categoría docente: \_\_\_\_\_

#### 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 el diseño de los vertederos de relleno sanitario. Considere que la escala que le presentamos es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde 0 hasta 10.

**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 la autora.

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 el diseño 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 la autora.**

**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	0,04	0,04	0,04	0,05	0,77	0,8	0,785
2	0,3	0,4	0,04	0,05	0,05	0,05	0,89	0,9	0,895
3	0,1	0,2	0,02	0,02	0,02	0,05	0,41	0,5	0,455
4	0,2	0,5	0,04	0,04	0,04	0,05	0,87	0,7	0,785
5	0,3	0,5	0,04	0,05	0,05	0,05	0,99	0,9	0,945
6	0,3	0,4	0,04	0,05	0,05	0,05	0,89	0,8	0,845
7	0,2	0,4	0,04	0,04	0,04	0,05	0,77	0,8	0,785

**Fuente: Elaborado por la autora.**

**Anexo 2:**

Encuesta 2: La presente encuesta tiene como objetivo someter a su valoración, la propuesta presentada sobre un sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario como parte del tema de tesis de grado para optar por el título de Ingeniera 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 el diseño 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 el diseño 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 diseño 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 consulta de los especialistas sobre la aplicabilidad del sistema de indicadores para el diseño de los vertederos de relleno sanitario.**

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	
Total	5	-	1	1	5	-	1	5	-

**Fuente: Elaborado por la autora.**

**Tabla 6. Tabulación de los resultados de los aspectos propuestos a la consulta de los especialistas sobre la eficiencia del sistema de indicadores para el diseño 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 diseño 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	
Total		6		4	2	-	-	6	-

**Fuente: Elaborado por la autora.**

**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	
Total	-	5	1

**Fuente: Elaborado por la autora.**