



Informe de metodología para la construcción del Índice de Cumplimiento de la Norma oficial Mexicana 083 de la SEMARNAT (NOM-083-SEMARNAT-2003)

Introducción

El presente informe detalla la metodología empleada para la construcción del Índice de Cumplimiento de la Norma 083 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) utilizando datos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales (CNGMyDT) 2023, realizado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). Este índice evalúa el grado de cumplimiento de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en relación con la norma 083, mediante un conjunto de variables seleccionadas y normalizadas.

Variables seleccionadas

Para la construcción del índice, se seleccionaron las siguientes variables que reflejan diferentes aspectos de la infraestructura y el manejo de los sitios de disposición final:

- **sd_imper:** Sistema de impermeabilización del sitio de disposición final.
- **sis_:** Algún tipo de sistema de captación y concentración de lixiviados.
- **lix_:** Algún tipo de sistema de control y tratamiento de lixiviados.
- **sdf_ctrl:** Sistema de control del gas producto de la descomposición de la materia orgánica.
- **dren_plu:** Infraestructura para el desalojo rápido de aguas de lluvia.
- **area_eme:** Infraestructura para la recepción de residuos en situaciones de emergencia.
- **cam_inte:** Infraestructura vial dentro del sitio de disposición final.
- **cerca_pe:** Infraestructura que delimita el área del sitio de disposición final.



- case_vig: Infraestructura para la vigilancia y el control de acceso al sitio de disposición final.
- bascula: Infraestructura para pesar vehículos recolectores de residuos.
- com_cubr: Proceso de reducción del volumen de residuos y su cobertura con tierra.
- frecuen: Periodicidad de la cobertura con tierra de los residuos sólidos urbanos.

Recategorización de variables

Cada una de las variables mencionadas fue recategorizada de variables categóricas a numéricas para facilitar su normalización. La recategorización se realizó de la siguiente manera:

- Variables dicotómicas (sí/no) fueron convertidas a 1 (sí) y 0 (no).
- Variables con múltiples valores categóricos fueron asignadas a un rango de valores numéricos, asegurando que los valores reflejen la relevancia de cada categoría respecto al cumplimiento de la norma.

Normalización de variables

Para asegurar la comparabilidad de las variables y su integración en un índice único, se utilizó el método de distancia al referente. Este método implica normalizar cada variable a una escala de 0 a 1. La fórmula de normalización utilizada es la siguiente:

Valor Normalizado = Valor Actual – Valor Mínimo / Valor Máximo – Valor Mínimo

Donde:

- Valor Actual: Es el valor original de la variable para un sitio específico.
- Valor Mínimo y Valor Máximo: Son los valores mínimos y máximos observados para esa variable en toda la muestra.

La normalización por distancia al referente es un método utilizado para transformar los datos originales de las variables en valores que se encuentren dentro de un rango común, generalmente de 0 a 1. Este proceso es esencial cuando se trabaja con



variables que tienen diferentes unidades de medida o rangos de valores, permitiendo una comparación justa y equilibrada entre ellas.

Procedimiento de normalización por Distancia al Referente

1. Identificación del referente:

El referente en este contexto es el rango completo de valores que una variable puede asumir dentro de la muestra de datos. El valor mínimo y el valor máximo observados para cada variable son los extremos de este rango.

2. Cálculo de la distancia:

La distancia de cada valor observado (Valor Actual) al valor mínimo de la variable es calculada primero. Esta distancia se expresa como:

Distancia al Mínimo = Valor Actual – Valor Mínimo

3. Escalamiento relativo:

La distancia calculada se divide por la amplitud total del rango de la variable (diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo) para obtener un valor normalizado. Este escalamiento relativo asegura que todas las variables se representen en una escala uniforme:

Valor Normalizado = Distancia al Mínimo / Valor Máximo – Valor Mínimo

Este procedimiento convierte cada valor de las variables en un valor entre 0 y 1, donde 0 corresponde al valor mínimo de la variable y 1 corresponde al valor máximo. Los valores intermedios se distribuyen proporcionalmente dentro de este rango.

Ejemplo práctico de Normalización

Consideremos una variable hipotética "ctrl_kwh" que mide la cantidad de kilowatt-hora generada en promedio al día. Supongamos los siguientes valores:

- Valor Mínimo Observado: 0 kWh
- Valor Máximo Observado: 200 kWh
- Valor Actual para un sitio específico: 50 kWh



El valor normalizado para este sitio se calcularía de la siguiente manera:

$$\text{Valor Normalizado} = 50 - 0 / 200 - 0 = 50 / 200 = 0.25$$

Este valor normalizado de 0.25 indica que el sitio específico está al 25% del rango completo de generación de kilowatt-hora observado en la base de datos.

Cálculo del Índice

Una vez obtenidos los valores normalizados para cada variable, se procedió a calcular el Índice de Cumplimiento de la Norma 083 de la SEMARNAT mediante un promedio simple de todos los valores normalizados de cada sitio de disposición final. La fórmula utilizada para el cálculo del índice es:

$$\text{Índice de Cumplimiento} = \sum \text{Valor Normalizado} / \text{Número de Variables}$$

Este índice se presenta en dos formatos:

Rango de 0 a 1: Donde 0 indica el menor cumplimiento y 1 indica el máximo cumplimiento.

Rango de 0 a 100: Multiplicando el índice en el rango de 0 a 1 por 100, facilitando la interpretación del nivel de cumplimiento.

Clasificación de los sitios de disposición final

La clasificación de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en tres categorías (rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados) se fundamenta en los criterios establecidos por la Norma 083 de la SEMARNAT. Estos criterios estipulan que para que un sitio pueda ser considerado como relleno sanitario, debe cumplir con al menos 12 atributos específicos. La justificación de las puntuaciones asignadas y la clasificación resultante se detalla a continuación:

1. Rellenos Sanitarios (18 puntos o más): Un sitio de disposición final se clasifica como relleno sanitario si cumple con al menos 12 de los siguientes atributos:



- **Sistema de impermeabilización:** Los sistemas de impermeabilización más eficientes (geomembrana o arcilla compactada y geomembrana) reciben puntuaciones más altas, ya que proporcionan una barrera más efectiva contra la filtración de lixiviados que los sistemas de arcilla compactada o la ausencia de un sistema de impermeabilización.
- **Sistema de captación de lixiviados:** Los sistemas de captación de lixiviados, como cárcamos o lagunas de estabilización, son cruciales para prevenir la contaminación del suelo y del agua subterránea. Estos sistemas reciben puntuaciones más altas que otros tipos o la ausencia de sistemas de captación.
- **Sistema de tratamiento de lixiviados:** Los tratamientos avanzados como recirculación, evaporación, lodos activados, lagunas aireadas, reactores de biofísicos, coagulación, floculación, sedimentación, adsorción, oxidación química, membranas (filtración), y ósmosis inversa obtienen puntuaciones más altas debido a su eficacia en la gestión de lixiviados.
- **Sistema de control de biogás:** La utilización del biogás para la generación de energía se considera la mejor práctica y recibe la mayor puntuación. Otros métodos como la red con quemadores centrales, quema a través de pozos, o pozo de extracción sin quema reciben puntuaciones más bajas.
- **Compactación y cubrimiento con tierra:** El proceso regular de compactación y cobertura de residuos sólidos con tierra es esencial para minimizar la emisión de olores y la proliferación de vectores. Una alta frecuencia de compactación diaria o varias veces a la semana recibe puntuaciones más altas.
- **Báscula:** La presencia de una báscula para pesar los vehículos recolectores es fundamental para la gestión precisa de los residuos. La ausencia de una báscula no suma puntos.
- **Drenaje pluvial:** El drenaje pluvial adecuado previene la acumulación de agua y los daños materiales, y es un atributo crítico que recibe una alta puntuación.
- **Área de emergencia:** La disponibilidad de un área de emergencia para la recepción de residuos durante fenómenos naturales o meteorológicos garantiza la continuidad de operaciones y es altamente valorada.
- **Caminos interiores:** La infraestructura vial dentro del sitio es esencial para el manejo eficiente de los residuos y recibe una alta puntuación.
- **Cerca de malla perimetral:** La delimitación del área del sitio de disposición final mediante una cerca de malla perimetral es importante para la seguridad y control de acceso, y se valora con una alta puntuación.



- **Caseta de vigilancia y control de acceso:** La vigilancia y control de ingreso son esenciales para la seguridad y operación del sitio, y su presencia es altamente valorada.

2. Sitios Controlados (11 a 17 puntos): Los sitios que obtienen entre 11 y 17 puntos se clasifican como sitios controlados. Estos sitios cumplen con algunos de los atributos esenciales, pero no alcanzan los estándares completos requeridos para ser considerados rellenos sanitarios. La puntuación intermedia refleja un nivel moderado de cumplimiento, indicando que estos sitios tienen ciertos controles y prácticas en lugar, pero aún presentan áreas significativas de mejora para alcanzar el nivel de un relleno sanitario.

3. Sitios No Controlados (10 puntos o menos): Los sitios con 10 puntos o menos se clasifican como sitios no controlados. Esta clasificación indica que el sitio carece de muchos de los atributos esenciales para la gestión segura y eficiente de residuos, según los criterios de la Norma 083. La falta de sistemas básicos como impermeabilización, captación y tratamiento de lixiviados, y control de biogás, entre otros, señala deficiencias críticas en la infraestructura y operaciones, lo que representa riesgos ambientales y de salud pública significativos.

Justificación de la puntuación y clasificación

La asignación de puntos y la subsecuente clasificación de los sitios de disposición final se basa en la importancia de cada atributo según la Norma 083 de la SEMARNAT. Cada atributo refleja un aspecto crítico de la gestión de residuos que, cuando se cumple adecuadamente, contribuye a minimizar los impactos ambientales y garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones de disposición final.

Los sitios que alcanzan 18 puntos o más (rellenos sanitarios) demuestran un cumplimiento robusto de los criterios de la norma, lo que les permite operar de manera más segura y efectiva. Los sitios con puntuaciones entre 11 y 17 puntos (sitios controlados) muestran un cumplimiento parcial, indicando que han implementado algunas prácticas adecuadas, pero aún necesitan mejorar en varias áreas clave. Finalmente, los sitios con 10 puntos o menos (sitios no controlados) carecen de los elementos esenciales para una gestión segura de residuos, lo que



requiere atención inmediata y mejoras significativas para alcanzar los estándares básicos de la norma.

Coherencia entre puntuaciones y valores normalizados en el índice

Para evaluar de manera consistente y comparativa el estado de los 2,250 sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, se utilizó el método de normalización por distancia al referente. Este proceso permitió convertir las puntuaciones originales, basadas en los criterios de la Norma 083 de la SEMARNAT, en valores normalizados dentro de un rango de 0 a 1. Esta normalización es esencial para garantizar la comparabilidad entre diferentes sitios y facilita la interpretación del Índice de Cumplimiento de la Norma 083.

Para evaluar de manera consistente y comparativa el estado de los 2,250 sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, se utilizó el método de normalización por distancia al referente. Este proceso permitió convertir las puntuaciones originales, basadas en los criterios de la Norma 083 de la SEMARNAT, en valores normalizados dentro de un rango de 0 a 1. Esta normalización es esencial para garantizar la comparabilidad entre diferentes sitios y facilita la interpretación del Índice de Cumplimiento de la Norma 083.

Proceso de normalización y su justificación

La normalización por distancia al referente se empleó para transformar las puntuaciones originales de los atributos específicos en valores comparables. Este método asegura que todas las variables, independientemente de su escala original, contribuyan equitativamente al cálculo del índice. El proceso de normalización implica los siguientes pasos:

- 1. Identificación de los Valores Mínimos y Máximos:**
 - Para cada variable, se identificaron los valores mínimos y máximos observados entre los 2,250 sitios de disposición final.
- 2. Cálculo de Valores Normalizados:**



- Los valores originales se transformaron utilizando la fórmula:
$$\text{Valor Actual} - \text{Valor M\u00ednimo} / \text{Valor M\u00e1ximo} - \text{Valor M\u00ednimo}$$
- Este c\u00e1lculo posiciona cada valor dentro de un rango de 0 a 1, donde 0 corresponde al valor m\u00ednimo observado y 1 al valor m\u00e1ximo observado.

Integraci\u00f3n de puntuaciones normalizadas en el \u00edndice

Una vez que todas las variables fueron normalizadas, se procedi\u00f3 a calcular el \u00cdndice de Cumplimiento de la Norma 083 como un promedio simple de los valores normalizados. Este \u00edndice, presentado en un rango de 0 a 1, permite una evaluaci\u00f3n equitativa y comparativa de todos los sitios de disposici\u00f3n final. Adem\u00e1s, el \u00edndice se escal\u00f3 multiplicando por 100 para obtener un rango de 0 a 100, facilitando as\u00ed su interpretaci\u00f3n.

Clasificaci\u00f3n basada en el \u00edndice normalizado

La clasificaci\u00f3n de los sitios de disposici\u00f3n final en "rellenos sanitarios", "sitios controlados" y "sitios no controlados" se bas\u00f3 en los valores normalizados del \u00edndice. Las categor\u00edas de clasificaci\u00f3n fueron determinadas de la siguiente manera:

- **Rellenos Sanitarios:** \u00cdndice ≥ 0.72 (equivalente a 18 puntos o m\u00e1s en la escala original).
- **Sitios Controlados:** \u00cdndice entre 0.44 y 0.71 (equivalente a entre 11 y 17 puntos en la escala original).
- **Sitios No Controlados:** \u00cdndice ≤ 0.43 (equivalente a 10 puntos o menos en la escala original).

Coherencia y comparabilidad de los resultados

La utilizaci\u00f3n de valores normalizados busca que las puntuaciones de los sitios de disposici\u00f3n final sean coherentes y comparables entre s\u00ed. Este enfoque permite una



evaluación en perspectiva comparada de los 2,250 sitios, reduciendo las distorsiones que podrían surgir de las diferencias en las escalas originales de las variables. Además, facilita la identificación de patrones y tendencias en el cumplimiento de la Norma 083, proporcionando una visión clara y precisa del estado de la infraestructura y gestión de residuos sólidos urbanos a nivel nacional.

Problemas de comparación y sensibilidad del índice

Al utilizar el método de normalización por distancia al referente para la construcción del Índice de Cumplimiento de la Norma 083 de la SEMARNAT, es importante reconocer algunas limitaciones y problemas de comparación que pueden surgir. Aunque este método proporciona una forma estandarizada y equitativa de evaluar el cumplimiento de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, existen circunstancias que pueden afectar la interpretación de los resultados.

Variabilidad y clasificación inconsistente

Uno de los problemas principales es la posibilidad de que algunos sitios de disposición final clasificados como "sitios no controlados" presenten puntuaciones más altas en el índice normalizado que algunos sitios clasificados como "sitios controlados". Esto puede ocurrir debido a la distribución desigual de los atributos específicos que componen el índice. Sitios que cumplen con ciertos atributos de manera sobresaliente pueden obtener puntuaciones normalizadas altas en esos atributos, elevando su promedio general, aunque no cumplan con otros atributos esenciales.

Por ejemplo, sitios como el Relleno Sanitario Intermunicipal de Tulcingo en Guerrero, el Vertedero Municipal San Bartolo en Jalisco, y El Jazay en Hidalgo han demostrado tener puntuaciones más altas en ciertos atributos específicos, lo que les permite incrementar su valor promedio en el índice. Sin embargo, estos sitios pueden carecer de otros atributos críticos, lo que los clasifica como "sitios no controlados" según los criterios establecidos.



Sensibilidad a valores atípicos

El uso de promedios simples para calcular el índice también introduce una sensibilidad significativa a valores atípicos. Los valores extremadamente altos o bajos en una o más variables pueden sesgar el promedio, resultando en una representación menos precisa del estado general del sitio. En los casos mencionados, ciertos atributos pueden presentar valores atípicos que inflan el promedio, dando una impresión de cumplimiento más alto de lo que realmente es.

Este fenómeno es particularmente relevante en sitios que destacan en áreas específicas, como la generación de energía a partir de biogás o la implementación de sistemas avanzados de tratamiento de lixiviados. Si bien estos logros son importantes, no compensan la falta de otros atributos esenciales requeridos por la Norma 083. La dependencia en el promedio simple puede, por lo tanto, dar lugar a clasificaciones que no reflejan de manera precisa el nivel de cumplimiento integral de los sitios.

Resultados y conclusiones

El Índice de Cumplimiento de la Norma 083 de la SEMARNAT ofrece una medida cuantitativa y objetiva del grado de cumplimiento de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en relación con las normativas establecidas. Este índice permite identificar áreas de mejora y fortalezas en la infraestructura y gestión de dichos sitios, apoyando la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas para mejorar la gestión de residuos en los municipios.