

## ANÁLISIS DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003 Y SU PROYECTO DE MODIFICACIÓN 2021 BAJO CATEGORÍAS DE SOSTENIBILIDAD. APLICACIÓN A TRES SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL

Analysis of NOM-083-SEMARNAT-2003 and its 2021 modification project under sustainability categories. Application to three final disposal sites

Sergio Omar LÓPEZ-GASCA<sup>1</sup>, María del Consuelo HERNÁNDEZ-BERRIEL<sup>1\*</sup>,  
Amaya LOBO-GARCÍA DE CORTÁZAR<sup>2</sup>, Otoniel Buenrostro-Delgado<sup>3</sup>,  
María del Consuelo MAÑÓN-SALAS<sup>1</sup> y Francisco José COLOMER-MENDOZA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca. Avenida Tecnológico sin número, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, C.P. 52149, Estado de México, México.

<sup>2</sup> Universidad de Cantabria, Avenida. de los Castros 44, C.P. 39005, Santander, España.

<sup>3</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Francisco J. Múgica sin número, Colonia Felicitas del Río, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

<sup>4</sup> Universidad Jaime I, Avenida Vicent Sos Baynat, sin número, C.P. 12071, Castellón de la Plana, España.

\*Autora para correspondencia: [mhernandezb@toluca.tecnm.mx](mailto:mhernandezb@toluca.tecnm.mx)

*(Recibido: febrero 2023; aceptado: mayo 2023)*

Palabras clave: actualización, evaluación, normas, rellenos sanitarios, residuos solidos.

### RESUMEN

El Diario Oficial de la Federación en México publicó el 10 de mayo de 2021 el “Proyecto de Modificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003” (Proyecto-083-SEMARNAT-2021), para la correcta disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que considera la actualización de tecnologías y los compromisos ante el cambio climático. El objetivo del presente trabajo fue analizar la NOM-083-SEMARNAT-2003 y su Proyecto-083-SEMARNAT-2021, así como evaluar bajo sus criterios tres sitios de disposición final (SDF), para determinar las áreas de oportunidad y los retos que implica el cumplimiento de las modificaciones propuestas bajo el enfoque de la sostenibilidad. Para ello se elaboraron cuadros comparativos, se clasificaron los criterios en las categorías social, ambiental, técnico y económico y, se compararon con el Real Decreto 646/2020 de España. La evaluación de los SDF con ambas normas Mexicanas, se realizó utilizando tablas de verificación. En el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 se incluyeron 44 criterios, se modificó la clasificación de los SDF y los requerimientos para el tipo D. La NOM-083-SEMARNAT-2003 y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 priorizan la categoría ambiental (53 % y 47%, respectivamente) y la categoría social es 10 % menor que la normatividad española. El cumplimiento con el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 fue menor en 1.6 %, 2.6 % y 8.3 % para los SDF de Tenango del Valle, Aculco y Xalatlaco, Estado de México respectivamente. Los resultados ratifican que los requerimientos del Proyecto-083-SEMARNAT-2021 son más riguroso y aunque implican mayor inversión, su implementación disminuirá el impacto ambiental y social, lo cual contribuirá a los compromisos signados de la Agenda 2030.

Key words: updating, evaluation, standards, landfills, solid waste.

## ABSTRACT

The Official Gazette of the Federation in México published on May 10, 2021 the “NOM-083-SEMARNAT-2003 Modification Project” (Project-083-SEMARNAT-2021), for the correct disposal of municipal solid waste and special management, which considers the updating of technologies and commitments to climate change. The objective of this work was to analyze NOM-083-SEMARNAT-2003 and its Project-083-SEMARNAT-2021, as well as evaluate under their criteria three final disposal sites (FDS), to determine the areas of opportunity and the challenges involved in complying with the proposed modifications under the sustainability approach. To this end, comparative tables were prepared, the criteria were classified into social, environmental, technical and economic categories and compared with Royal Decree 646/2020 of Spain. The evaluation of the FDS with both Mexican regulations, was carried out using verification tables. In Project-083-SEMARNAT-2021, 44 criteria were included, the classification of FDS and the requirements for type D were modified. The NOM-083-SEMARNAT-2003 and the Project-083-SEMARNAT-2021 prioritize environmental category (53% and 47%, respectively) and the social category is 10% lower than the Spanish regulations. Compliance with the Project-083-SEMARNAT-2021 was lower by 1.6%, 2.6% and 8.3% for the FDS of Tenango del Valle, Aculco and Xalatlaco, State of Mexico respectively. The results confirm that the Project-083-SEMARNAT-2021 requirements are more rigorous and although they imply a greater investment, their implementation will reduce the environmental and social impact, which will contribute to the signed commitments of the 2030 Agenda.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las etapas del manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU), la disposición final tiene especial relevancia, debido a que, al realizarse inadecuadamente provoca riesgos de contaminación ambiental y afectación a la salud, que pueden prolongarse durante años, convirtiéndolos en “pasivos ambientales” (Bernache-Pérez 2011, Lobo-García de Cortázar et al. 2016, Cárdenas-Moreno et al. 2019, Cobos et al. 2021).

De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR), publicado en 2020 por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) México generó 120 128 t/día de RSU, los cuales representan un incremento de 17 233 t/día en comparación con los reportadas en el DBGIR de 2012. El DBGIR en 2020 menciona que se recolectan 100 751 t/día, depositándose en promedio 86 352.7 t/día en los 2203 sitios de disposición final (SDF) registrados (SEMARNAT 2020).

Cada país cuenta con leyes y normas para la selección, emplazamiento, operación y clausura de SDF, que buscan garantizar la protección al ambiente y a la salud. Tal es el caso de la “Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) (42 USC)” de Estados Unidos de América (USEPA 2014); el “Real Decreto 646/2020” del 07 de julio 2020, por el que se regula el depósito de residuos mediante vertederos en

España y da respuesta a la Directiva (UE) 2018/850 de la Unión Europea, publicada el 30 de mayo 2018 y que considera la economía circular (MTEyTD 2020); la “Ley 20920” de Chile (MMA 2016) y en México la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2004). En el trabajo de Cobos et al. (2021), se revisan los criterios considerados por normas de 14 países latinoamericanos y los comparan con la regulación ecuatoriana, destacando que para la ubicación de los SDF, se debe tener un análisis previo, para evitar que se coloquen en zonas sensibles o de alto riesgo.

En México la NOM-083-SEMARNAT-2003 define diferentes tipos de SDF, como el relleno sanitario (RESA), el sitio controlado (SC) y el sitio no controlado (SNC), con base en sus características de infraestructura y operativas (SEMARNAT 2004). El DBGIR 2020 no clasifica a los SDF en estos tipos, debido a la falta de información y los reporta conforme a al “Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017” del INEGI (2017), donde se consideraron como características de infraestructura: báscula, captura de lixiviados, captura de biogás, geomembrana y cerca; y para la operación incluyeron: control de acceso, control de admisión de residuos, compactación y cubrimiento con tierra. Cabe mencionar que solo 82 SDF cumplen con todos los puntos de infraestructura y operación analizados, en los cuales se deposita el 40.2 % de los residuos que se generan diariamente en México

y 685 SDF no cumplen con ninguna característica (SEMARNAT 2020).

De acuerdo con el Artículo 51 del “Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización”, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) deben de ser revisadas cada cinco años a partir de la fecha de su entrada en vigor (DOF 1997), con la intención de actualizar el contenido de éstas. Por ello en 2009 se revisó y ratificó la NOM-083-SEMARNAT-2003; en 2015 se realizó un Proyecto de Modificación que se publicó el 4 de agosto 2015, sin embargo, no llegó a concluirse el protocolo, continuando vigente la NOM publicada en 2004. Como resultado de su tercera revisión, se publicó el 10 de mayo 2021 el “Proyecto de Modificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003” (Proyecto-083-SEMARNAT-2021), que presenta la actualización de las “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un SDF de RSU y de manejo especial (RME)” (SEMARNAT 2021).

A lo largo de los 17 años, entre la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021, se han elaborado varios manuales, guías y reglamentos (Wehenpohl et al. 2004, Hernández-Barrios et al. 2005, Heredia-Cantillana et al. 2007, Ortiz-Conde y Hernández-Barrios 2012); los cuales han tenido por objetivo el coadyuvar a la implementación de la NOM-083-SEMARNAT-2003, para eliminar los SNC y apoyar a que los SC cumplan con las características de un RESA.

Conforme a lo anterior, el presente trabajo tuvo por objetivo analizar la NOM-083-SEMARNAT-2003 y su Proyecto-083-SEMARNAT-2021 y, evaluar bajo sus criterios tres SDF, para determinar las áreas de oportunidad y los retos que implica el cumplimiento de las modificaciones propuestas bajo el enfoque de la sostenibilidad.

## MATERIALES Y METODOS

En los siguientes apartados se describen las etapas que se llevaron a cabo en este trabajo de investigación, donde previo a la evaluación de los SDF se realizó la comparación de las normas para conocer a detalle cada uno de los criterios y sus alcances.

### Comparación de las normas mexicanas

Para identificar las diferencias entre las dos normas mexicanas se elaboró un cuadro comparativo,

colocando los conceptos y criterios agregados en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 y aquellos modificados de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2004, 2021). Se analizaron las principales diferencias a detalle, consultando la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LPGIR), así como su reglamento (DOF 2014, 2021) y manuales de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Wehenpohl et al. 2004, Hernández-Barrios et al. 2005, Heredia-Cantillana et al. 2007, Ortiz-Conde y Hernández-Barrios 2012).

### Análisis de la pertinencia bajo el enfoque de la sostenibilidad

Los criterios de las dos normas mexicanas y los artículos del Real Decreto 646/2020 se clasificaron en cuatro categorías: social, ambiental, técnico y económico (Abujayyab et al. 2016, Cobos et al. 2021), con el fin de detectar áreas de oportunidad en los rubros de ubicación, diseño, construcción, operación, clausura y postclausura de SDF para RSU y RME desde el enfoque de la sostenibilidad.

### Aplicación de las normas mexicanas en tres casos de estudio

Se evaluaron tres SDF del Estado de México con diferentes características de infraestructura y operación (el SNC de Aculco, el SC de Xalatlaco y el RESA de Tenango del Valle). A cada uno de estos sitios se les visitó, georreferenció y se les aplicaron dos tablas de verificación (TV). La primera TV aplicada fue elaborada con los criterios de los apartados 6, 7, 8 y 9 de la NOM-083-SEMARNAT-2003, mientras que la segunda TV fue la elaborada tomando en cuenta los mismos criterios, pero con base en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 (SEMARNAT 2021), donde a cada condicionante se le asignó el valor de uno para “Cumple”, cero para “No cumple” y en caso de que “No aplique” no se considera en la suma (las TV pueden consultarse en el material complementario de este manuscrito). Para evaluar el porcentaje de cumplimiento de cada uno de los SDF con respecto a ambas normas, se elaboraron cuadros comparativos.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Comparación de las normas mexicanas

En la primera columna del **cuadro I** se colocaron los 27 conceptos y 16 criterios agregados en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 y en la segunda columna los 16 conceptos y 26 criterios que se modificaron de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Una

**CUADRO I.** COMPARACIÓN DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003 Y EL PROYECTO-083-SEMARNAT-2021.

Criterios agregados en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021	Criterios que fueron modificados en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021
4.1. Acta circunstanciada	3. Referencias de normas
4.8. Autoridad competente	4.1. Cambia a 4.2 Acuíferos
4.9. Barrera Alternativa	4.2. Cambia a 4.3 Agua subterránea
4.11. Capa drenante	4.3. Cambia a 4.4 Altimetría
4.12. Celda	4.4. Cambia a 4.5 Aprovechamiento de los residuos
4.18. Control de biogás	4.5. Cambia a 4.6 Área de emergencia
4.19. Dictamen de verificación	4.6. Cambia a 4.7 Áreas naturales protegidas
4.20. Dictamen del especialista en la materia	4.7. Cambia a 4.10 Biogás
4.22. Especialista en la materia	4.8. Cambia a 4.12 Celda
4.25. Evaluación de la conformidad	4.9. Cambia a 4.14 Cobertura (Cobertura de operación)
4.28. Franja de amortiguamiento	4.23. Cambia definición de Estero
4.30. Geomembrana	4.29. Cambia definición de Frente de trabajo
4.32. Informe técnico	4.37. Cambia definición de Manglar
4.35. Lodos	4.38. Cambia definición de Mantenimiento de postclausura
4.36. Malla 200	4.42. Cambia definición de Monitoreo ambiental
4.43. Monitoreo de biogás	4.44. Cambia definición de Obras complementarias
4.49. Piezómetro	4.55. Cambia definición de Relleno sanitario
4.50 Plan de regularización	5.2. Categorías de los sitios de disposición final
4.54. Pruebas de biogás	6.1.1. Restricción por aeródromo y/o aeropuerto
4.56. Residuos	6.1.2. Restricción por áreas naturales protegidas
4.57. Responsable del sitio	6.1.3. Restricción por localidades mayores a 2500 hab
4.58. Riesgo aviario	6.1.7. Restricción por zonas de inundación
4.59. Sistema de control de biogás	6.3.3 a) Cambia definición de Evaluación geológica
4.60. Sistema de control de lixiviados	6.3.3. b) y c) Cambia definición de Evaluación hidrogeológica
4.69. Unidad de verificación	6.4. b) Cambia definición de Generación de biogás
4.72. Zona de influencia del sitio de disposición final	6.5. Cumplimiento de estudios y análisis previos
4.73. Zona de captura	7.1. Sistema de impermeabilización
6.1.6. Restricción por sitios contaminados	7.3. Modifican los requerimientos para biogás
6.1.10. Restricción por vida útil del sitio	7.4 Modifican los requerimientos para lixiviados
6.2.2.3. Análisis de la dirección y flujo	7.5. Se agregaron condiciones al drenaje pluvial
6.2.2.4. Análisis de vulnerabilidad	7.6. Se agregaron condiciones al área de emergencia
6.3.3. a) Estudio geofísico	7.7. Cambia a 8.2 y amplían los requerimientos
6.3.4. Estudios Hidrológicos e Hidráulicos	7.9. Modifica Compactación inicial de residuos
7.2. Esfuerzo máximo de tensión de sistemas de impermeabilización	7.10. Obras y servicios complementarios
7.7. Se trasladan los residuos de la celda de emergencia	8. Características operativas del SDF
7.8. Capacidad de la celda de emergencia	8.5.1. Cambian requerimientos de monitoreo de biogás
7.10.1. Obras y servicios optativos para sitios tipo D	8.5.2. Cambian requerimientos de monitoreo de lixiviados
7.11. Obras complementarias e infraestructura	8.5.3. Cambian requerimientos de monitoreo de acuíferos
7.12. Requisitos mínimos para los sitios de disposición final (SDF)	9.1. Conformación del sitio
8.6. Programa de control de impactos	9.2. Cobertura final
8.7. Personas fuera de la plantilla laboral no deberán permanecer en el SDF	9.3. Mantenimiento
8.8 Mantenimiento de equipo y maquinaria	9.4. Programa de monitoreo
9.6. Requisitos mínimos para la clausura de un sitio controlado o sitio no controlado	9.5. Uso final del sitio de disposición final

vez realizado este cuadro, se observó que el Apartado 7 fue el que tuvo mayores modificaciones, ya que se eliminaron dos criterios, se agregaron 12 y se modificaron ocho. Por cuestiones de espacio no se incluyeron en el **cuadro I** los 52 criterios existentes de la norma vigente (SEMARNAT 2004) y los 66 criterios del proyecto de norma (SEMARNAT 2021), comprendidos en los apartados 5 a 9.

Además de las diferencias mostradas en el **cuadro I**, los principales cambios se tienen en los siguientes apartados (SEMARNAT 2004, 2021):

- a) Apartado 3. Entre las normas de referencia se detectó la NOM-052-SEMARNAT-2005, que es la actualización de la NOM-052-SEMARNAT-93, que se utiliza en la NOM-083-SEMARNAT-2003, además se hace uso de la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 y la NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT 2003a, 2003b, 2006).
- b) Apartado 4. Se incluyeron las definiciones de la LGPGIR y su reglamento (DOF 2014, 2021). También se eliminaron dos criterios, se agregaron 12 y se modificaron ocho definiciones, haciéndolas

más explícitas en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021. Entre las definiciones adicionales destaca la 4.50 Plan de regularización “Documento en el cual se establecen las acciones necesarias para cumplir en su totalidad con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana por los responsables de los sitios de disposición final”.

- c) Apartado 5. En el **cuadro II** se muestra la clasificación de los diferentes tipos de SDF, de acuerdo con las toneladas diarias recibidas para la NOM-083-SEMARNAT-2003 y para el Proyecto-083-SEMARNAT-2021.
- d) Apartado 6. Para este apartado los cambios relevantes en sus criterios fueron:

- 6.1.1 Disminuye la distancia a la que debe estar un SDF del centro de la pista de un aeródromo y/o aeropuerto de 13 a 3 km: establece una distancia mínima de 15 km, a partir de la cabecera de la(s) pista(s) de un aeródromo y/o aeropuerto y en caso de los SDF que se ubiquen entre los 3 y los 15 km, fuera de la trayectoria de aproximación, requieren de un estudio de riesgo aviario.
- 6.1.6 Se prohíbe colocar en sitios previamente contaminados por residuos (se agregó).
- 6.1.10 Se deberá garantizar una vida útil mayor a 15 años (se agregó).
- 6.2.2.4 Solicita un análisis de vulnerabilidad del acuífero (se agregó).
- 6.3.3 a) Se anexa la indicación para determinar si las fallas son activas o inactivas.
- 6.4 b) Se indica utilizar la última versión del Modelo Mexicano de Biogás (se agregó).
- 6.5 Es más riguroso en cuanto a los estudios y análisis necesarios, incluyendo a los tipo D y sólo exceptúan los estudios geológico y geohidrológico regionales para los tipos C y D. Se hace obligatorio que los estudios y análisis deban ser aprobados por peritos especializados.

Es pertinente que el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 contemple que los SDF deben de tener una vida útil mayor a 15 años, lo cual apoyará a que el diseño de nuevos SDF o la rehabilitación de algunos de los existentes se realice conforme a este criterio (Hernández-Berriel et al. 2020).

Cabe resaltar que al indicar en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 como obligatorios los estudios previos para los SDF tipo D y la aprobación por peritos especializados, se incrementará la inversión requerida, aunque como mencionan Cuellar-Salinas y Sarmiento-Bleicher (2011), algunos de éstos pueden no ser indispensables.

- e) Apartado 7. Este apartado muestra mayor número de diferencias, debido a que en la NOM-083-SEMARNAT-2003 contiene las características de infraestructura y operativas; a diferencia del Proyecto-083-SEMARNAT-2021, que en este apartado sólo incluye las características de infraestructura y en su apartado 8 menciona las características operativas. Los criterios de este apartado que en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 presentan mayores cambios son:

- 7.1 Se agregan los requerimientos en caso de utilizar geomembrana, así como una figura donde se muestre a detalle la estructura que debe tener un sistema de impermeabilización.
- 7.3 Se anexa una tabla con el numeral 3, en la que se especifican a detalle los requerimientos del sistema de captación de biogás de acuerdo con el tipo de SDF.
- 7.4 Se agregan requerimientos al sistema de captación y control de lixiviados.
- 7.6 El área de emergencia estaba contemplada en la NOM-083-SEMARNAT-2003, y en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 se indica que debe estar fuera del área de desarrollo de las celdas y ser de fácil acceso.

**CUADRO II.** CAMBIOS EN LA CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SITIOS DE DISPOSICION FINAL CONFORME AL INGRESO DE RESIDUOS SÓLIDOS.

Tipos de sitios/Normas	NOM-083-SEMARNAT-2003 (Apartado 5) <sup>a)</sup>	Proyecto-083-SEMARNAT-2021 (Apartado 5) <sup>b)</sup>
A	Mayor a 100 t/día	500 t/día o más
B	50 y menor de 100 t/día	100 y menor de 500 t/día
C	10 y menor de 50 t/día	50 y menor de 100 t/día
D	Menor a 10 t/día	Menor a 50 t/día

<sup>a)</sup> SEMARNAT 2004; <sup>b)</sup> SEMARNAT 2021.

- 7.7 Los residuos dispuestos en la celda de emergencia deben de trasladarse a la celda en operación (se agregó).
  - 7.8 El área de emergencia debe tener la capacidad de recibir lo equivalente a 20 días de ingreso de residuos (se agregó).
  - 7.9 En el **cuadro III** se presentan los cambios en requerimientos de compactación para los residuos. El incremento en la compactación se puede atribuir al evidente impacto económico que representa contar con sitios de mayor capacidad volumétrica, lo cual es directamente proporcional a la rentabilidad, debido a que pospondrá la adquisición de un nuevo terreno y el disponer los residuos en zonas más alejadas, lo que beneficia a los ecosistemas al no requerir de otro SDF a corto plazo (Ortiz-Conde y Hernández-Barrios 2012, Enciso-Gómez et al. 2019, DOF 2021).
  - 7.10 Las obras y servicios complementarios son obligatorias para todos los tipos de SDF y en el 7.10.1 especifica cuales instalaciones son optativas para los SDF tipo D.
  - 7.11 Los SDF podrán contar con obras complementarias previo análisis de factibilidad, que entre otras incluye: planta de selección de residuos valorizables, viveros, planta de generación de energía eléctrica, sistema de tratamiento y/o valorización de residuos orgánicos (se agregó).
  - 7.12 Enuncia los requisitos mínimos que deberán cumplir los SDF para residuos no reciclables (se agregó).
- f) Apartado 8. En la NOM-083-SEMARNAT-2003 se determinan los requisitos mínimos a cumplir para un SDF tipo D y cambia en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021, por las características

operativas del SDF y con ello los siguientes criterios: 7.7 a 8.2, 7.8 a 8.3, 7.10 a 8.1, 7.8.1 a 8.4 y 7.11 a 8.5; agregándose los criterios 8.6, 8.7 y 8.8, los cuales hacen referencia respectivamente a un programa permanente para el control de impactantes ambientales, las personas fuera de la plantilla laboral no deben permanecer en el SDF y el mantenimiento del equipo y maquinaria no debe de contaminar al suelo.

El apartado 7 y 8 del Proyecto-083-SEMARNAT-2021, son de suma importancia, ya que como lo mencionan Cárdenas-Moreno et al. (2019), aunque los SDF en su mayoría cumplen con las restricciones de ubicación, su mala operación y la carencia de infraestructura, provoca impactos negativos en el ambiente y en la salud, lo cual debe de minimizarse o evitarse como lo requieren la LGPGIR y la Ley General de Cambio Climático (DOF 2014, 2022).

- g) Apartado 9. Se reacomodaron los criterios 9.1 a 9.2 y el 9.2 a 9.1; se incrementaron las condiciones que debe tener la conformación del sitio y su cobertura final, detallando que debe tener una pendiente mínima del 0.5 % y una compactación inicial de al menos 75 % de la prueba Proctor; se agregó el criterio 9.6, que enmarca los requisitos mínimos para la clausura de un SC o SNC, detallando lo que debe tener para el control de biogás y lixiviados.

#### **Análisis de la pertinencia bajo el enfoque de la sostenibilidad**

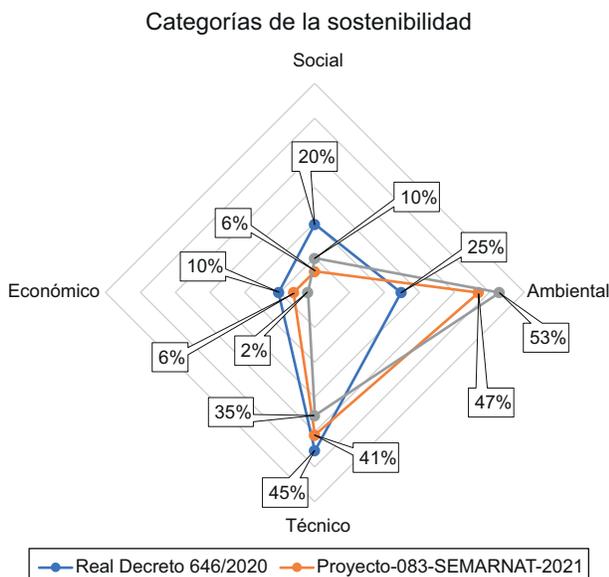
En la **figura 1** se muestran los criterios de la NOM-083-SEMARNAT-2003, el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 y los artículos del Real Decreto 646/2020, clasificados en cuatro categorías bajo el enfoque de la sostenibilidad: social, ambiental, técnico y económico (Abujayyab et al. 2016, Cobos et al.

**CUADRO III.** CAMBIOS EN LOS REQUERIMIENTOS DE COMPACTACIÓN DE ACUERDO CON LOS TIPOS DE SITIOS DE DISPOSICION FINAL.

Tipos de sitios/Normas	NOM-083-SEMARNAT-2003 (Apartado 7.6) <sup>a)</sup>	Proyecto-083-SEMARNAT-2021 (Apartado 7.9) <sup>b)</sup>
A	A 1 > 700 kg/m <sup>3</sup>	> 700 kg/m <sup>3</sup>
	A 2 > 600 kg/m <sup>3</sup>	
B	> 500 kg/m <sup>3</sup>	> 600 kg/m <sup>3</sup>
C	> 400 kg/m <sup>3</sup>	> 500 kg/m <sup>3</sup>
D	> 300 kg/m <sup>3</sup>	> 400 kg/m <sup>3</sup>

<sup>a)</sup> SEMARNAT 2004; <sup>b)</sup> SEMARNAT 2021.

2021). En el **cuadro A** del material complementario se presenta a detalle la clasificación.



**Fig. 1.** Clasificación de los criterios bajo las categorías de la sostenibilidad.

La categoría económica es la que se toma en menor proporción en las tres normas, seguida de la social. Las normas mexicanas le dan mayor peso a la categoría ambiental, mientras que el Real Decreto 646/2020 se lo da a la categoría técnica (**Fig. 1**).

Si bien, el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 presenta una disminución de los criterios de las categorías ambiental y social (6 y 4 % respectivamente) con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003, las categorías técnica y económica tienen incrementos (6 y 4 % respectivamente). En la categoría ambiental, la normatividad mexicana es más rigurosa proporcionalmente en comparación con el Real Decreto 646/2020, sin embargo, tiene áreas de oportunidad en las otras tres categorías, resaltando la social con un rezago de 10 % para la NOM-083-SEMARNAT-2003 y un 14 % para el Proyecto-083-SEMARNAT-2021.

Es importante mencionar tres condicionantes que no se consideran en la normatividad mexicana y en el Real Decreto 646/2020 sí. La primera es la implementación de una fianza o garantía que se debe tener en caso de algún daño ocasionado por el SDF a la salud o al ambiente, la segunda son las metas para reducir la recepción de residuos con miras a la economía circular y la tercera, que los SDF deben de ser operados por personal cualificado para ello.

Cabe mencionar, que la NOM-083-SEMARNAT-2003 cumple con 12 de los 36 criterios reportados por Cobos et al. (2021) y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 cumple con 17, indicio de que este último es más riguroso; mientras que el Real Decreto 646/2020 cumple con 18 (**Cuadro B** del material complementario).

De acuerdo con el análisis de las tres normas, se mencionan las siguientes observaciones y áreas de oportunidad para el Proyecto-083-SEMARNAT-2021:

- Incluir límites o rangos para la recepción de residuos, características físicas y químicas de los lixiviados, corrientes de agua intermitentes, vientos dominantes y distancias a granjas, áreas agrícolas, escuelas y hospitales. Estos aspectos permitirían contar con medidas de protección ambiental adicionales y más estrictas, como las que contiene el Real Decreto 646/2020.
- La inclusión de la distancia que se tiene que recorrer para trasladar los residuos, así como la infraestructura vial disponible, ya que en algunos casos el transporte de los residuos llega a representar el 70 % del costo de disposición de RSU y RME (Enciso-Gómez et al. 2019).
- El Proyecto-083-SEMARNAT-2021 es más estricto en el apartado 7 y especifica a mayor detalle las condiciones que deben tener. Esto es de suma importancia, debido a que con la NOM-083-SEMARNAT-2003 algunos responsables de SDF han aplicado las condiciones a su entendimiento y en muchas ocasiones han provocado afectaciones a suelo, agua y aire (Polo y Guevara 2001, Wehenpohl et al. 2004, Heredia-Cantillana et al. 2007, Bernache-Pérez 2012, Díaz-Archundia et al. 2017). De ahí la importancia que el responsable del SDF sea una persona cualificada, como lo estipula el Real Decreto 646/2020.
- Incluye el requerimiento de estudios previos para la clausura para los SDF que no son operados como RESA. Los estudios previos deben ser en función del tipo de instalación, su tamaño, el tiempo que lleva cerrado y la naturaleza de los residuos vertidos, de manera que la rehabilitación del terreno se realice con menor riesgo (Lobo-García de Cortázar et al. 2016). Estos requerimientos sólo se mencionan en las guías de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Hernández et al. 2005).
- Si bien ya se considera el uso de Modelo Mexicano de Biogás (Stege y Davila 2009), aún no se contempla la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) como apoyo en los estudios previos; lo que ayudaría a acortar tiempos,

facilitar la obtención de la ubicación idónea para el establecimiento de un SDF y disminuir costos (Silva et al. 2010, Abujayyab et al. 2016, Cárdenas-Moreno et al. 2019, López-Gasca et al. 2020, Mañón-Salas et al. 2020, Pérez-Palacios et al. 2020).

Analizando los criterios de infraestructura y operación para la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Apartado 7) y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 (Apartados 7 y 8) bajo las cuatro categorías de la sostenibilidad, se detectó mayor equilibrio entre las categorías ambiental y técnica en éste último (14 que corresponden al 42 % y 16 que corresponden al 48 % respectivamente), mientras que la NOM-083-SEMARNAT-2003 tiene 12 criterios (63 %) para la categoría ambiental y 5 (26 %) para la técnica (Fig. 2); por lo que se puede decir que el Proyecto-083-SEMARNAT-2021, efectivamente comprende los objetivos responder a los cambios de tecnología y garantizar la protección del ambiente. Sin embargo, se sigue quedando corto en la categoría económica, donde sólo incrementan dos condicionantes (4 %) y carece de criterios en la categoría social, por lo que los proyectos para la implantación de nuevos RESA observando cualquiera de las dos normas, corren el riesgo de no ser aceptados por la sociedad.

**Aplicación de las normas mexicanas en tres casos de estudio**

A continuación, se describen los tres SDF analizados en esta investigación:

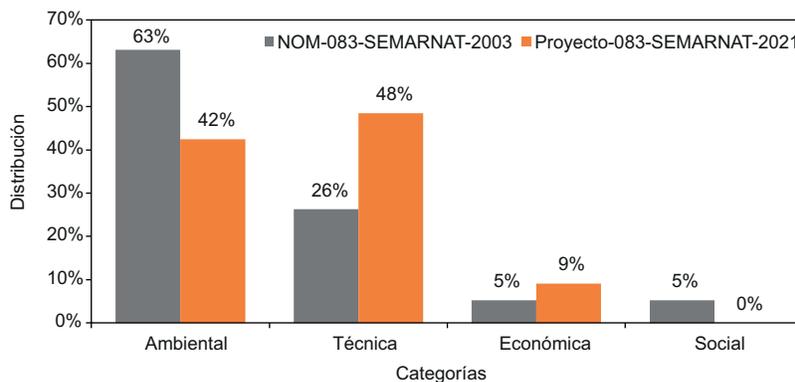
- a) El SNC del municipio de Aculco, se localiza en las coordenadas 20.138041, -99.840535 (20°08' 16.8" N, 99°50' 26.9" O), en el Ejido de Gunyó, a

una distancia de 6.1 km promedio de la cabecera municipal de Aculco, Estado de México (Fig. 3), dependiendo de la ruta que se elija para llegar (GE 2023a).



**Fig. 3.** Distancia del Palacio Municipal al sitio no controlado de Aculco, Estado México. Fuente: Adaptado de GE (2023a)

En el **cuadro IV** se presenta el grado de cumplimiento del SDF de Aculco, evaluado con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003 y al Proyecto-083-SEMARNAT-2021. Para este SNC su tipo cambia de C a D, ya que recibió 16 t/día en 2021. Para el apartado 7 del Proyecto-083-SEMARNAT-2021 aumentó el porcentaje de cumplimiento debido a que se separan las características de infraestructura de las características operativas del SDF. El punto 8 en el caso de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el punto 9 en ambos casos no se evaluaron, ya que el primero sólo aplica cuando es un SDF tipo D y en el segundo, cuando se tiene una celda clausurada o por



**Fig. 2.** Clasificación en categorías de los criterios del Apartado 7 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y los Apartados 7 y 8 del Proyecto-083-SEMARNAT-2021.

**CUADRO IV.** CUADRO COMPARATIVO DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003 Y EL PROYECTO-083-SEMARNAT-2021 APLICADO AL SITIO NO CONTROLADO DE ACULCO, ESTADO DE MÉXICO.

NOM-083-SEMARNAT-2003				Proyecto-083-SEMARNAT-2021			
Apartados y criterios	Puntaje máximo	Puntaje obtenido	Evaluación	Apartados y criterios	Puntaje máximo	Puntaje obtenido	Evaluación
Tipo de sitio	10 a <50 t/día	16 t/día	C		<50 t/día	16 t/día	D
6.1. Restricción para ubicación del sitio	7	6	86.0%	6.1. Restricción para ubicación del sitio	10	6	60.0%
6.2, 6.3 y 6.4. Estudios y análisis previos	8	0	0.0%	6.2, 6.3, 6.4 y 6.5. Estudios y análisis previos avalados por perito	17	0	0.0%
7. Características constructivas y operativas del sitio	41	2	4.9%	7. Características constructivas del sitio de disposición final	23	4	17.4%
8. Requisitos mínimos que deben cumplir los SDF de los RSU y RME, tipo D	NA	NA	NA	8. Características operativas del sitio de disposición final.	36	0	0.0%
9. Clausura del sitio	NA	NA	NA	9. Clausura del sitio	NA	NA	NA
Evaluación del cumplimiento	56	8	14.3%	Evaluación del cumplimiento	86	10	11.6%

NA: No aplica; RME: Residuos de manejo especial; RSU: Residuos sólidos urbanos; SDF: Sitio de disposición final.

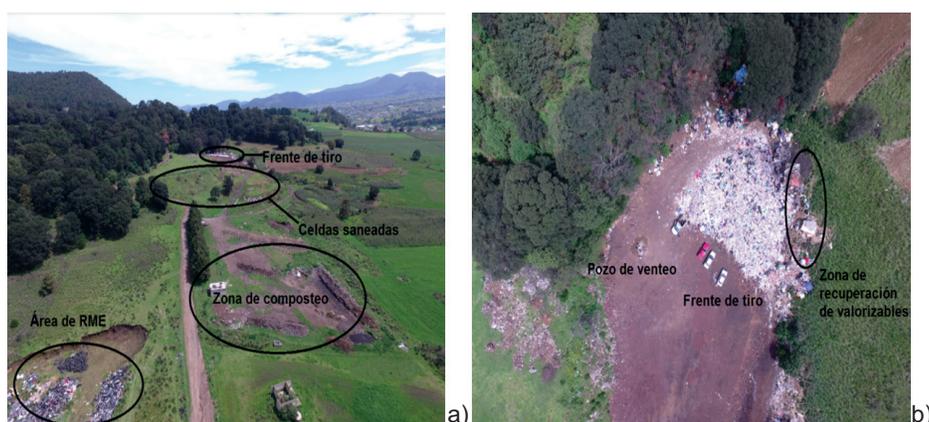
clausurar y el sitio no cuenta con las mismas. Aunado a ello, aumenta el puntaje máximo de cumplimiento a evaluar, de 56 a 86 puntos. Por último, el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 considera 19 puntos como requisitos mínimos que debe de cumplir un SDF, de los cuales este SNC sólo cuenta con dos. En los cuadros C y D del material complementario, se detallan las características del SNC de Aculco y su evaluación de cumplimiento con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021, respectivamente.

Cabe mencionar que la “Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003” en la página 1, estipula “los SDF que estén en funcionamiento en el momento de entrada en vigor de la presente Norma no podrán seguir operando, a menos que regularicen su situación” (Hernández-Barrios et al. 2005), sin embargo, en el DBGIR, se reporta que el 68.4 % de los SDF no cumplen con las características de infraestructura y operación mínimas necesarias (SEMARNAT 2020).

- b) El SC del municipio de Xalatlaco, se encuentra en la carretera federal No. 5 Xalatlaco – Chalma,

Xalatlaco, Estado de México, con coordenadas latitud: 19.157324031006215 y longitud: -99.41537451397193 (GE 2023b). Recibe sobre 33 t/día y cuenta con un área para RME, una zona de compostaje, una celda saneada y un frente de tiro como se muestra en la figura 4 (Hernández-Berriel et al. 2020, López-Gasca 2020, SEMARNAT 2020).

En el cuadro V se muestran los apartados evaluados, donde las principales diferencias se encontraron en los criterios 6.1, debido a que se agregaron tres puntos; así como en los apartados 7 y 8, porque la separación de las características de infraestructura y operativas conllevó a la revisión del cumplimiento de los requisitos de una manera más puntual. En cuanto a la evaluación global del SDF, disminuyó el grado de cumplimiento de 20.3 % a 12.0 %. El Proyecto-083-SEMARNAT-2021 considera para los SDF tipo D, características opcionales, entre ellas, si el sitio tiene compostaje, caseta de vigilancia y el control de acceso; por lo que no fueron consideradas dentro del puntaje en este caso. En los cuadros E y F del material complementario, se detallan las características de este SC y su evaluación de



**Fig. 4.** Áreas del sitio controlado de Xalatlaco, Estado de México. a) Áreas de operación b) vista de planta del frente de tiro.  
Fuente: López-Gasca 2020

**CUADRO V.** CUADRO COMPARATIVO DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003 Y EL PROYECTO-083-SEMARNAT-2021 APLICADO AL SITIO CONTROLADO DE XALATLACO, ESTADO DE MÉXICO.

Apartados y criterios	NOM-083-SEMARNAT-2003			Proyecto-083-SEMARNAT-2021			
	Puntaje máximo	Puntaje obtenido	Evaluación	Puntaje máximo	Puntaje obtenido	Evaluación	
Tipo de sitio	10 a <50 t/día	33 t/día	C	<50 t/día	33 t/día	D	
6.1. Restricción para ubicación del sitio	7	6	86.0%	6.1. Restricción para ubicación del sitio	10	7	70.0%
6.2, 6.3 y 6.4. Estudios y análisis previos	8	0	0.0%	6.2, 6.3, 6.4 y 6.5. Estudios y análisis previos avalados por perito	17	0	0.0%
7. Características constructivas y operativas del sitio	41	7	17.1%	7. Características constructivas del sitio de disposición final	23	3	13.0%
8. Requisitos mínimos que deben cumplir los SDF de los RSU y RME, tipo D	NA	NA	NA	8. Características operativas del sitio de disposición final.	36	2	5.6%
9. Clausura del sitio	8	0	0.0%	9. Clausura del sitio	14	0	0.0%
Evaluación del cumplimiento	64	13	20.3%	Evaluación del cumplimiento	100	12	12.0%

NA: No aplica; RME: Residuos de manejo especial; RSU: Residuos sólidos urbanos; SDF: Sitio de disposición final.

cumplimiento con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021, respectivamente.

c) El RESA de Tenango del Valle está ubicado en La Cooperativa, Estado de México, con coordenadas latitud: 19.086841 y longitud -99.626745 (GE 2023c), que recibía sobre 300 t/día en 2022 (Fig. 5).

En el **cuadro VI** se presenta la comparación de la evaluación con las normas para las celdas 1 y 2 del RESA de Tenango del Valle, para las cual se obtuvieron valores altos de cumplimiento (90.5 % en la NOM-083-SEMARNAT-2003 y 88.9 % en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021). Para el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 no se cumplió con el criterio 6.5, debido a que cuando



Fig. 5. Relleno sanitario del municipio de Tenango del Valle.

se realizaron los estudios previos en 2017, estos no fueron avalados por “Peritos expertos en el tema”, ya que con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003 no fueron requeridos. En los cuadros G y H del material complementario, se detallan las características de este RESA y

su evaluación de cumplimiento con respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el Proyecto-083-SEMARNAT-2021, respectivamente.

Los criterios y puntos agregados o modificados en el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 son más ambiciosos desde el punto de vista ambiental; sin embargo, implican mayores costos, pues se requieren, para la recirculación de lixiviados, estructuras diferentes a las utilizadas para la captación del biogás, sistemas de monitoreo perimetral y puntual para todos los tipos de SDF y sistemas de monitoreo continuo de biogás en celdas clausuradas para los tipos A y B. Mientras que en la NOM-083-SEMARNAT-2003, para los SDF que reciben más de 10 t/día, sólo se solicita un sistema de extracción, captación, conducción, control y quema de biogás, donde el aprovechamiento es opcional. Esto último no es coherente con los acuerdos del cambio climático firmados y ratificados por México en la Agenda 2030 (SE 2021), por lo que independientemente de que aún esté vigente la NOM-083-SEMARNAT-2003, es imperante que las autoridades tomen acciones para que los SDF aprovechen la generación de biogás como fuente de energía alternativa.

CUADRO VI. CUADRO COMPARATIVO DE LA NOM-083-SEMARNAT-2003 Y EL PROYECTO-083-SEMARNAT-2021 APLICADO AL RELLENO SANITARIO DE TENANGO DEL VALLE, ESTADO DE MÉXICO.

NOM-083-SEMARNAT-2003				Proyecto-083-SEMARNAT-2021			
Apartados y criterios	Puntaje máximo	Puntaje obtenido	Evaluación	Apartados y criterios	Puntaje máximo	Puntaje obtenido	Evaluación
Tipo de sitio	>100 t/día	300 t/día	A		100 a <500 t/día	300 t/día	B
6.1. Restricción para ubicación del sitio	7	7	100.0%	6.1. Restricción para ubicación del sitio	10	10	100.0%
6.2, 6.3 y 6.4. Estudios y análisis previos	21	21	100.0%	6.2, 6.3, 6.4 y 6.5. Estudios y análisis previos avalados por perito	23	22	95.6%
7. Características constructivas y operativas del sitio	46	39	84.8%	7. Características constructivas del sitio de disposición final	29	24	82.8%
8. Requisitos mínimos que deben cumplir los SDF de los RSU y RME, tipo D	NA	NA	NA	8. Características operativas del sitio de disposición final.	37	33	89.2%
9. Clausura del sitio	NA	NA	NA	9. Clausura del sitio	NA	NA	NA
Evaluación del cumplimiento	74	67	90.5%	Evaluación del cumplimiento	99	88	88.9%

NA: No aplica; RME: Residuos de manejo especial; RSU: Residuos sólidos urbanos; SDF: Sitio de disposición final.

## CONCLUSIONES

El Proyecto-083-SEMARNAT-2021 enriquece y actualiza los requerimientos para un SDF. Si bien muestra mayor equilibrio entre las categorías ambiental y técnica, la proporción de criterios en las categorías económica y social es menor del 10 %; y presenta áreas de oportunidad como establecer límites similares a los que indica el Real Decreto 646/2020 para residuos y lixiviados, así como para corrientes de agua intermitentes, vientos dominantes y distancias a áreas productivas y de servicios. Cabe mencionar que la implementación de tales medidas limitaría las ubicaciones aptas para el vertido de residuos y requeriría una mayor inversión para la operación, seguimiento y control de los SDF; lo cual limita su viabilidad a corto y medio plazo.

Las TV elaboradas facilitan la evaluación del grado de cumplimiento de los SDF y permiten visualizar de manera más sencilla las áreas de oportunidad en cada caso.

Las evaluaciones de los tres casos de estudio de SDF, demuestran que el Proyecto-083-SEMARNAT-2021 es más estricto que la NOM-083-SEMARNAT-2003 y que la falta de planeación para la ubicación de los tres sitios, es el principal factor de incumplimiento. Para el caso del RESA el cumplimiento decrece con respecto a las características de infraestructura y operativas.

La aplicación del Proyecto-083-SEMARNAT-2021 representa mayor inversión para dar cumplimiento a las condicionantes para recuperación y tratamiento de biogás y lixiviado respectivamente y aunque implica retos, las autoridades deben solicitar su implementación para responder a los compromisos firmados en la Agenda 2030 (CEPAL 2018), coadyuvar a la salud de las poblaciones cercanas y preservar las áreas agrícolas, pecuarias y silvícolas aledañas a SDF.

### Material complementario

La información auxiliar para ayudar a la interpretación de este artículo está disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/MaterialSuplementario/13-54977-Lopez-MatCom.pdf>

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca por el apoyo brindado mediante el proyecto de Investigación clave 10312.21-P “Evaluación para clausura o

rehabilitación de dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el Estado de México”; así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la SEMARNAT por el financiamiento, mediante el Proyecto de investigación SEMARNAT-2015-1-263315.

## REFERENCIAS

- Abujayyab S.K.M., Ahamad M.S.S., Yahya A.S., Bashir M.J.K. y Aziz H.A. (2016). GIS modelling for new landfill sites: critical review of employed criteria and methods of selection criteria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 37 (1), 1-17. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012053>
- Bernache-Pérez G. (2011). Los retos de la disposición final de residuos municipales en México. *Memorias. IV Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. Ciudad de México, México. 05 - 08 de octubre, 2011. 375-379 pp.*
- Bernache-Pérez G. (2012). El confinamiento de la basura urbana y la contaminación de las fuentes de agua en México. *Revista de El Colegio de San Luis II* (4), 36-53.
- Cárdenas-Moreno P.R., Piña-Guzmán A.B., Colomer-Mendoza F.J., Carlos-Alberola M.M. y Robles-Martínez F. (2019). Evaluation of compliance with regulatory factors of waste disposal sites by using geographical information systems, case of study: State of México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35 (4), 1025-1037. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.20>
- CEPAL (2018). *Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe [en línea]* [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf) 20/01/2022
- Cobos S.L., Solano J.L. y Gárate P.C. (2021). Criterios de selección para un sitio de disposición final de residuos sólidos no peligrosos. Revisión de normas ambientales latinoamericanas y su contraste con la norma ecuatoriana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 37, 39-53. <https://doi.org/10.20937/RICA/53660>
- Cuellar-Salinas R.S. y Sarmiento-Bleicher C. (2011). Revisión y propuesta de modificación de la NOM-083-SEMARNAT-2003. *Memorias. IV Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima. Ciudad de México, México. 05 - 08 de octubre, 2011. 397-402 pp.*

- Díaz-Archundia L.V., Buenrostro-Delgado O., Mañón-Salas, M.C. y Hernández-Berriel, M.C. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero en dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* 18 (2), 149-159.
- DOF (1997). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México. 20 de junio de 1997.
- DOF (2014). Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México. 31 de octubre de 2014.
- DOF (2021). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México. 18 de enero de 2021.
- DOF (2022). Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México. 11 de mayo de 2022.
- Enciso-Gómez, D., Antonio-Cervantes, P.H., Robles-Martínez, F., Durán-Páramo, E., y Castro-Frontana, D.G. (2019). Sistemas de información geográfica para optimizar el transporte de residuos a sitios de disposición final en el Estado de México, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 35 (Residuos sólidos en México), 55-67. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp02.06>
- GE (2023a). Sitio no controlado y Presidencia Municipal de Aculco, Estado de México. Google Earth Pro [en línea]. [https://earth.google.com/web/search/20.138292929196574,+99.8402248686096/@20.11734157,-99.83510648,2443.89561839a,7850.26180335d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCQgrJlmKzRAEaYDs05MEjRAGYK70NP48FjAIUwoBSMQ-ljA?utm\\_source=earth7&utm\\_campaign=vine&hl=es-41928/05/2023](https://earth.google.com/web/search/20.138292929196574,+99.8402248686096/@20.11734157,-99.83510648,2443.89561839a,7850.26180335d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCQgrJlmKzRAEaYDs05MEjRAGYK70NP48FjAIUwoBSMQ-ljA?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-41928/05/2023)
- GE (2023b). Sitio controlado de Xatlalaco, Estado de México. Google Earth Pro [en línea]. [https://earth.google.com/web/search/19.157324031006215,-99.41537451397193/@19.15759446,-99.41529422,2826.96237004a,461.38381549d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCdFF1dt5tjlAEdRF1dt5tjnAGZ-zOrPb-EpAicXkQl\\_4UkvA28/05/2023](https://earth.google.com/web/search/19.157324031006215,-99.41537451397193/@19.15759446,-99.41529422,2826.96237004a,461.38381549d,35y,-0h,0t,0r/data=CigiJgokCdFF1dt5tjlAEdRF1dt5tjnAGZ-zOrPb-EpAicXkQl_4UkvA28/05/2023)
- GE (2023c). Relleno sanitario de Tenango del Valle, Estado de México. Google Earth Pro [en línea]. <https://earth.google.com/web/search/19.086841,-99.626745/@19.086841,-99.626745,2828.19595291a,991.87736343d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCdNF1dt5tjlAEdNF1dt5tjnAGRfSo0SF40pAIUTG2c1OaE-vA28/05/2023>
- Heredia-Cantillana P., Sánchez-Gómez J., Rodríguez-Salinas M. y Aguilar-Vera R. (2007). Guía para la revisión de proyectos ejecutivos, planes de regularización o evaluación de la conformidad según la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Agencia de Cooperación Técnica Alemana [en línea] [https://www.academia.edu/30751065/COOPERACION\\_ESTADOS\\_UNIDOS\\_MEXICANOS\\_REPUBLICA\\_FEDERAL\\_DE\\_ALEMANIA\\_Gu%C3%ADa\\_para\\_la\\_revisi%C3%B3n\\_de\\_proyectos\\_ejecutivos\\_planes\\_de\\_regularizaci%C3%B3n\\_o\\_evaluaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_conformidad\\_seg%C3%BAAn\\_la\\_NOM\\_083\\_SEMARNAT\\_2003\\_23/03/2021](https://www.academia.edu/30751065/COOPERACION_ESTADOS_UNIDOS_MEXICANOS_REPUBLICA_FEDERAL_DE_ALEMANIA_Gu%C3%ADa_para_la_revisi%C3%B3n_de_proyectos_ejecutivos_planes_de_regularizaci%C3%B3n_o_evaluaci%C3%B3n_de_la_conformidad_seg%C3%BAAn_la_NOM_083_SEMARNAT_2003_23/03/2021)
- Hernández-Barrios C., Wehenpohl G. y Heredia-Cantillana P. (2005). Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Agencia de Cooperación Técnica Alemana [en línea] [http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia\\_regularizacin\\_NOM\\_083.pdf\\_23/03/2021](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_regularizacin_NOM_083.pdf_23/03/2021)
- Hernández-Berriel M.C., Lobo-García de Cortázar A., López-Gasca S.O., Mañón-Salas M.C., Colomer-Mendoza F.J. y Carreño-de León M.C. (2020). Propuesta metodológica para la toma de decisiones entre rehabilitación y clausura de sitios de disposición final. *Memorias. IX Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos*. Asunción, Panamá. 20 - 24 de septiembre, 2021. 504-510 pp.
- INEGI (2017). Residuos sólidos urbanos. Disposición final de los residuos sólidos urbanos Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México (datos de 2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [en línea] [https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=100601&ag=0&f=csv\\_10/01/2022](https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=100601&ag=0&f=csv_10/01/2022)
- Lobo-García de Cortázar A., Szantó-Narea M. y Llamas S. (2016). Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. *Experiencias en Iberoamérica*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32 (Especial Residuos Sólidos) 123-139. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.09>
- López-Gasca S.O. (2020). Propuesta de ubicación y prediseño de un relleno sanitario sustentable intermunicipal, entre Morelos y el Estado de México. Tesis de Maestría. División de Estudios de Posgrado, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, Estado de México, México, 172 pp.
- Mañón-Salas M. C., Hernández-Berriel M. C., Lobo-García de Cortázar A., Szantó-Narea M. y Buenrostro-Delgado O. (2020). Desarrollo de una aplicación web mapping para geoposicionar sitios de disposición final en municipios periféricos del Estado de México. IX

- Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Asunción, Panamá. 20 - 24 de septiembre, 2021. 550-555 pp.
- MMA (2016). Ley 20920. Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Ministerio del Medio Ambiente. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago de Chile, Chile, 01 de junio de 2016.
- MTEyTD (2020). Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Boletín Oficial del Estado BOE-A-2020-7438, Madrid, España. 08 de julio de 2020.
- Ortiz-Conde R. y Hernández-Barrios C. (2012). Manual de rehabilitación, clausura y saneamiento de sitios de disposición final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Agencia de Cooperación Internacional Alemana [en línea] <https://es.slideshare.net/IvanSoto4/manual-derehabilitacion-clausuray-saneamientodesitiosdedisposicionfinal> 23/03/2021
- Pérez-Palacios I.M., Hernández-Berriel M.C., Jiménez-Núñez M.L., Zavala-Arce R.E. y de la Rosa-Gómez I. (2020). Uso de sistemas de información geográfica para localizar recursos hídricos posiblemente contaminados por la inadecuada disposición de residuos sólidos urbanos. Memorias. IX Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Asunción, Panamá. 20 - 24 de septiembre, 2021. 473-478 pp.
- Polo M. y Guevara E. (2001). Contaminación de acuíferos por efecto de los lixiviados en el área adyacente al vertedero de desechos sólidos la Guásima, Municipio Libertador, Estado Carabobo. Revista Ingeniería UC 8 (2), 1-12.
- SE (2021). Informe Nacional Voluntario 2021. Agenda 2030 en México. Secretaría de Economía [en línea] [https://www.agenda2030.mx/docs/doctos/InfNal-Vol\\_FPAN\\_DS\\_2021\\_es.pdf](https://www.agenda2030.mx/docs/doctos/InfNal-Vol_FPAN_DS_2021_es.pdf) 20/01/2022
- SEMARNAT (2003a). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. -Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México. 15 de agosto de 2003.
- SEMARNAT (2003b). Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 Protección ambiental-Salud ambiental- Residuos peligrosos biológico- infecciosos- Clasificación y especificaciones de manejo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México. 17 de febrero de 2003.
- SEMARNAT (2004). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México. 20 de octubre de 2004.
- SEMARNAT (2006). Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México. 23 de junio de 2006.
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [en línea] <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/555093/Diagnostico-BasicoGestionIntegralResiduosF.pdf> 20/04/2021
- SEMARNAT (2021). Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México. 10 de mayo de 2021.
- Silva J.T., Estrada F., Ochoa S., y Cruz G. (2010). Propuesta metodológica para la ubicación de áreas de disposición de residuos sólidos urbanos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 22 (4), 147-156.
- Stege G.A. y Davila J.L. (2009). Manual del usuario Modelo Mexicano de Biogás versión 2.0. SCS Engineers y Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América [en línea] [https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/manual\\_del\\_usuario\\_modelo\\_mexicano\\_de\\_biogas\\_v2\\_2009.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf) 28/05/2023
- USEPA (2014). Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Orientation Manual. United States Environmental Protection Agency. Manual. Washington, D.C., EUA, 242 pp.
- Wehenpohl G., Heredia-Cantillana P., Hernández-Barrios C. y de Buen-Richkarday B.H. (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. 1a. ed. diciembre de 2004. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) [en línea] [http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia\\_Cumplimiento\\_NOM\\_083.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf) 18/01/2022