

Artículo Original

**ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DE DIFERENTES
ALTERNATIVAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
EN EL MUNICIPIO XALATLACO (MÉXICO)**

**UNCERTAINTY ANALYSIS OF DIFFERENT ALTERNATIVES FOR SOLID
WASTE MANAGEMENT IN THE MUNICIPALITY OF XALATLACO (MEXICO)**

María del Consuelo Hernández-Berriel¹ <https://orcid.org/0000-0002-3532-7316>

Isis Neftaly Martínez Morales¹ <https://orcid.org/0000-0001-8979-2275>

Laura Verónica Díaz Archundia² <https://orcid.org/0000-0001-5101-614X>

María del Consuelo Mañón Salas³ <https://orcid.org/0000-0001-9195-2493>

Nicolás Flores Álamo² <https://orcid.org/0000-0003-2281-610X>

Elena Regla Rosa Domínguez^{4*} <https://orcid.org/0000-0002-5371-0976>

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México.

² Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México.

³ Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México.

⁴ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Diciembre 16, 2022; Revisado: Enero 5, 2023; Aceptado: Enero 27, 2023

RESUMEN

Introducción:

El análisis de ciclo de vida (ACV) pretende ser una herramienta cuantitativa de apoyo a la toma de decisiones. La evaluación de las incertidumbres permite evaluar las fortalezas y debilidades de las estimaciones realizadas. El Análisis de Monte Carlo es uno de los métodos más utilizados para propagar los resultados de incertidumbre.

Objetivo:

Conocer la incertidumbre asociada a los datos y los modelos utilizados para evaluar el impacto en cada categoría considerada, de acuerdo a la metodología de ACV, para la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el municipio Xalatlaco, México.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Elena R. Domínguez, Email: erosa@uclv.edu.cu



Materiales y Métodos:

En este estudio se realiza un análisis de incertidumbre, usando el método de Monte Carlo, para evaluar la propagación de la incertidumbre de los datos en los resultados de cada categoría de impacto considerada en el estudio y de la comparación de los escenarios, para seleccionar el más conveniente.

Resultados y Discusión:

Los resultados demuestran que los datos del inventario influyen en los resultados de cada una de las categorías, sin embargo, los coeficientes de variación son inferiores al 25%. La comparación del Escenario base con la mejor opción (Escenario 3), permite identificar que en todas las categorías los resultados presentan impactos inferiores con respecto al escenario base excepto en el agotamiento de la capa de ozono.

Conclusiones:

Se corrobora la importancia del análisis de incertidumbre en el Análisis de Ciclo de Vida como apoyo en la toma de decisiones. La implementación del Escenario 3 es factible.

Palabras clave: análisis de incertidumbre; ciclo de vida; manejo integral; método de Monte Carlo; residuos sólidos urbanos.

ABSTRACT

Introduction:

The life cycle analysis (LCA) is intended to be a quantitative tool to support decision making. The evaluation of uncertainties allows evaluating the strengths and weaknesses of the estimates made. Monte Carlo Analysis is one of the most widely used methods to propagate uncertainty results.

Objective:

To know the uncertainty associated with the data and the models used to assess the impact on each category considered, according to the LCA methodology, for the management of Municipal Solid Waste in the Xalatlaco municipality, Mexico.

Materials and Methods:

In this study, an uncertainty analysis is carried out, using the Monte Carlo method, to evaluate the propagation of data uncertainty in the results of each impact category considered in the study and the comparison of the scenarios, to select the most convenient.

Results and Discussion:

The results show that the inventory data influence the results of each of the categories; however, the coefficients of variation are less than 25%. The comparison of the Base Scenario with the best option (Scenario 3), allows us to identify that in all the categories the results present lower impacts with respect to the Base Scenario except for ozone layer depletion.

Conclusions:

The importance of the uncertainty analysis in the Life Cycle Analysis as support in decision making is verified. The implementation of Scenario 3 is feasible.

Keywords: uncertainty analysis; life cycle; comprehensive management; Monte Carlo method; municipal solid waste.

1. INTRODUCCIÓN

La población en el mundo era en 2020 de 7,79 billones de personas y se estima que para 2050 incrementará a 9,73 billones, esto es preocupante en función no solo de los productos y servicios que requiere, especialmente alimento y agua, sino debido a la cantidad de residuos sólidos que genera, la cual ascenderá a 3,40 billones de toneladas (Kaza y col., 2018; ONU, 2022). En México la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) fue 120,128 t/día en 2020, con una generación per cápita promedio de 0,944 kg/día; y se espera que se incremente conforme al crecimiento poblacional que actualmente es 0,9% anual (CONAPO, 2022; SEMARNAT, 2020). Para la gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos (RSU) se cuenta con el manejo integral de RSU (MIRSU), en el cual pueden incorporar diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la fracción orgánica, los residuos reciclables y el “resto” para generación de energía, o bien, enviarlos a disposición en un relleno sanitario con control o aprovechamiento del biogás para la producción de electricidad (Behrooznia y col., 2020; Nanda y Berruti, 2021).

En cuanto a la selección de la tecnología adecuada para el MIRSU, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se perfila como una de las mejores herramientas (Erses, 2015). Para la aplicación del ACV se tienen las normas ISO 14040 y 14044 (ISO 2006a, ISO 2006b). El ACV consta de cuatro fases: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario de ciclo de vida, evaluación del impacto e interpretación del ciclo de vida. La interpretación comprende la revisión de todas las fases del ACV y la verificación de todos los supuestos, especialmente la calidad de los datos mediante el análisis de incertidumbre (ISO 2006a, ISO 2006b). El análisis de incertidumbre permite determinar cómo los supuestos progresan en los cálculos y cómo afectan a la fiabilidad de los resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida, que son la base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones, de acuerdo con la fase de definición de objetivos y alcances. Si bien todos los datos de los modelos usados tienen cierta incertidumbre, no todos los estudios sobre ACV incluyen su análisis. Para el análisis de incertidumbre el método estadístico de Monte Carlo es uno de los más utilizados (EEIA, 2021; PRé, 2020; Wang y col., 2020).

Debido a que la incertidumbre es uno de los factores clave que influyen en la confiabilidad de los resultados del ACV, el objetivo de este trabajo fue conocer la incertidumbre asociada a los datos y los modelos utilizados para evaluar el impacto en cada categoría considerada, de acuerdo a la metodología de ACV, para la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el municipio Xalatlaco, México.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Delimitación del Área de estudio

Como caso de estudio para este trabajo se eligió el municipio de Xalatlaco, Estado de México, donde las autoridades responsables del manejo de los RSU de la administración 2018-2021, dieron todas las facilidades requeridas para conocer las actividades que realizaban durante la recolección, tratamiento y disposición.

De acuerdo con el Plan de manejo de RSU del municipio de Xalatlaco 2018-2021, se contaba con cuatro etapas: recolección selectiva, tratamiento de residuos orgánicos

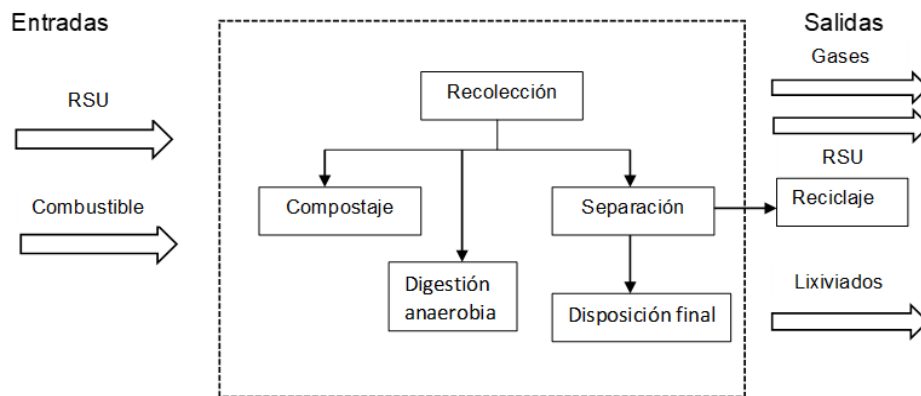
(RO) por medio de compostaje, separación de residuos inorgánicos reciclables (RIR) y disposición final para los residuos mixtos (RM) en el sitio no controlado (SNC) del municipio (H. Ayuntamiento de Xalatlaco, 2016).

2.2. Análisis de Ciclo de Vida

Para el ACV se aplicaron las normas ISO 14040 y 14044, desarrollándose las etapas:

- Definición de objetivo, alcance y límites del sistema,
- Inventario de ciclo de vida,
- Evaluación del impacto ambiental de los diferentes escenarios propuestos,
- Análisis de resultados (ISO, 2006a, ISO 2006b).

Se estableció como unidad funcional una tonelada de RSU y los límites del sistema que se muestran en la figura 1. Además, se modificó el inventario de ciclo de vida (ICV) de ECOINVENT 3.0 del software SIMAPRO® 8.0 y con este simulador se evaluaron para cuatro escenarios las categorías: Calentamiento Global (CG), Agotamiento del Ozono Estratosférico (AGE), Eutrofización de Agua Terrestre (EUA), Ecotoxicidad en Agua (ECA) y Uso de Suelo (US) (ECOINVENT, 2019; Martínez-Morales, 2021).



Fuente: (Martínez-Morales, 2021)

Figura 1. Límites del sistema

2.3. Análisis de Incertidumbre de los escenarios considerados usando Monte Carlo

La incertidumbre, que puede simplemente ignorarse, es uno de los factores clave que influyen en la confiabilidad de los resultados del ACV (Barahmand y Eikeland, 2022). Considerando que en este estudio se han realizado suposiciones para la construcción de los inventarios de cada uno de los escenarios y para conocer la incertidumbre asociada a los datos utilizados, la mayoría de los procesos adaptados de la base Ecoinvent 3.0, así como de los modelos utilizados para evaluar el impacto en cada categoría considerada, se llevó a cabo un análisis de Monte Carlo, donde se simularon 1000 corridas a partir de los datos disponibles (Sills y col., 2013; Salazar y Alzate, 2017). El Análisis de Monte Carlo se llevó a cabo en cinco pasos:

- Se consideró cada parámetro de entrada como una variable estocástica con una distribución de probabilidad especificada.
- Se construyó el modelo de ACV con la consideración de todos los parámetros estocásticos.
- Se calcularon los resultados del ACV.

4. Se repitió el proceso para una gran cantidad de iteraciones.
5. Se investigaron las propiedades estadísticas de los resultados: la desviación estándar, el intervalo de confianza y el coeficiente de variación.

Para incrementar la confiabilidad de los resultados obtenidos se realizó la evaluación de la incertidumbre en dos momentos, primero a cada uno de los escenarios considerados con el objetivo de investigar, cómo se propaga la incertidumbre asociada a los datos de inventario en cada una de las categorías de impacto considerada y posteriormente se realizó el análisis de la comparación de los escenarios, en este caso se seleccionó el mejor escenario propuesto de acuerdo a los resultados del ACV con el escenario base.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Delimitación del área de estudio

El municipio de Xalatlaco es uno de los 125 del Estado de México y su SNC abarca 19,972 m², está ubicado en el paraje Tilac, con coordenadas geográfica 19°09'26.60" latitud Norte y 99°24'56.4" latitud Oeste (Figura 2). El terreno donde se encuentra ubicado el SNC es propiedad del municipio y cuenta con dos hectáreas para disponer RSU y cuatro hectáreas (estimadas), donde se prepara composta y se almacenan temporalmente residuos de manejo especial (RME) como llantas usadas y residuos electrónicos (Figura 3) (Google Earth, 2022; Hernández-Berriel y col., 2021; López-Gasca, 2020).



Fuente: (Google Earth, 2022)

Figura 2. Ubicación del sitio no controlado de Xalatlaco, Estado de México



Fuente: (López-Gasca, 2020)

Figura 3. Áreas del sitio no controlado de Xalatlaco, Estado de México

3.2. Análisis de Ciclo de Vida

En 2017 se reportó que en el municipio de Xalatlaco se recolectaban diariamente de 30 a 33 t de RSU (Hernández-Berriel y col., 2021). Para realizar el ACV tomó como base 1,0 t de RSU y se consideraron los cuatro escenarios que a continuación se listan:

- a) Escenario base o actual para los RSU (E0): 11,6% son RIR separados manualmente en el frente de tiro del SNC, 2,5% son RO procesados con compostaje empírico y 85,9% RM son depositados en el SNC.
- b) Escenario 1 (E1): 23,1 % son RIR separados en banda transportadora, 24,3% son RO tratados mediante compostaje mecánico y 52,6% son RM dispuestos en el SNC.

- c) Escenario 2 (E2): 23,1% son RIR separados en banda transportadora, 24,3% son RO tratados mediante compostaje mecánico y 52,6% son RM depositados en un relleno sanitario (RESA).
- d) Escenario 3 (E3): 23,1% son RIR separados para reciclaje, 24,3% son RO tratados por medio de digestión anaeróbica y 52,6% son RM depositados en un RESA que cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004).

El E0 presentó impactos perjudiciales para CG, EUA, ECA y US con excepción de AGE; mientras el E3 resultó con las cargas de menores impactos ambientales en cuatro de las cinco categorías evaluadas, como se muestra en la tabla 1 (Martínez-Morales, 2021).

Tabla 1. Resultados del análisis de ciclo de vida para los cuatro escenarios

| <i>Categoría de Impacto</i> | <i>Unidad</i> | <i>E0</i> | <i>E1</i> | <i>E2</i> | <i>E3</i> |
|---------------------------------|--------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Ecotoxicidad de agua fresca | kg 1,4-DCB | 409,986 | 245,882 | -7,192 | -1,546 |
| Eutroficación de agua fresca | kg P eq | 2,348E-02 | -3,986E-02 | -1,523E-01 | -9,195E-02 |
| Calentamiento Global | kg CO ₂ eq | 972,322 | 335,232 | -863,349 | -894,829 |
| Uso del terreno | m ² a crop eq | -36,325 | -74,291 | -75,192 | -75,252 |
| Agotamiento de la capa de ozono | kg CFC11 eq | -3,9E-05 | 3,2E-04 | 3,1E-04 | 1,3E-04 |

3.3 Análisis de Monte Carlo de escenarios

Los resultados se obtuvieron a partir de la herramienta Análisis de Incertidumbre del software SimaPro 9.0.0.35, Se tomó como referencia los resultados obtenidos del ACV considerando los cuatro escenarios descritos en el epígrafe anterior. Los resultados se muestran en la tabla 2.

3.3.1. Evaluación de escenarios por separado

Los resultados de este análisis para cada uno de los escenarios fueron similares, se toma como ejemplo el E0 para ilustrar la forma en que se discuten los resultados. En la figura 4 se muestra el análisis de incertidumbre del E0. Se observa los valores máximos y mínimos que pueden obtenerse en cada categoría de impacto debido a la incertidumbre asociada a los datos del inventario. Lo anterior brinda un resultado más confiable, pues no se emite un juicio a partir de un resultado asociado a un valor.

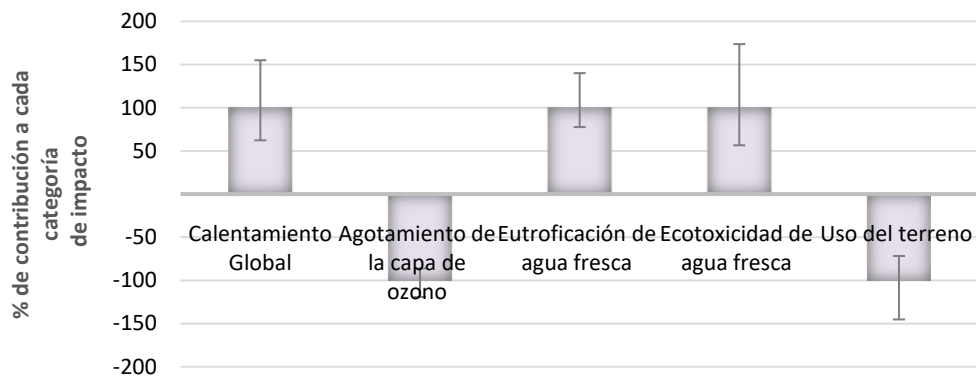


Figura 4. Análisis de Incertidumbre para el escenario cero

En la tabla 2 se puede apreciar la desviación estándar y el coeficiente de variación asociado a cada categoría de impacto. Se observa que el coeficiente de variación (CV) se encuentra por debajo del 25 %, por lo cual se puede considerar adecuado el uso de datos y modelos en este estudio (Von Pfingsten y col., 2017).

Resultados similares se obtuvieron en el resto de los escenarios y en todos los casos se comprobó que el coeficiente de variación fue inferior al 25 %.

Tabla 2. Resultados del análisis de incertidumbre para el E0

| <i>Categoría de Impacto</i> | <i>Unidad</i> | <i>Media</i> | <i>Mediana</i> | <i>DS</i> | <i>CV (%)</i> |
|---------------------------------|--------------------------|--------------|----------------|-----------|---------------|
| Ecotoxicidad de agua fresca | kg 1,4-DCB | 410,89 | 397,26 | 117,86 | 24,68 |
| Eutroficación de agua fresca | kg P eq | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 15,07 |
| Calentamiento Global | kg CO ₂ eq | 981,63 | 956,31 | 230,86 | 23,52 |
| Uso del terreno | m ₂ a crop eq | -35 | -34,24 | 6,48 | -18,5 |
| Agotamiento de la capa de ozono | kg CFC11 eq | - 0,503 | -0,5029 | 0,023 | -4,724 |

3.3.2. Evaluación de escenarios base y mejor propuesta

La comparación de los escenarios E0 y E3 (Figura 5) usando el análisis de incertidumbre, permitió corroborar que, en todas las simulaciones realizadas (1000) en los datos del modelo, los impactos asociados a las categorías CG, US, ECA y EUA, son superiores en más del 80% en el E0. Solo la categoría AGE presenta los menores impactos en este escenario. Este comportamiento es atribuible al incremento de los consumos de electricidad, evidenciándose la necesidad de buscar fuentes renovables de energía que sostengan el consumo de las nuevas instalaciones que se proyectan en el E3.

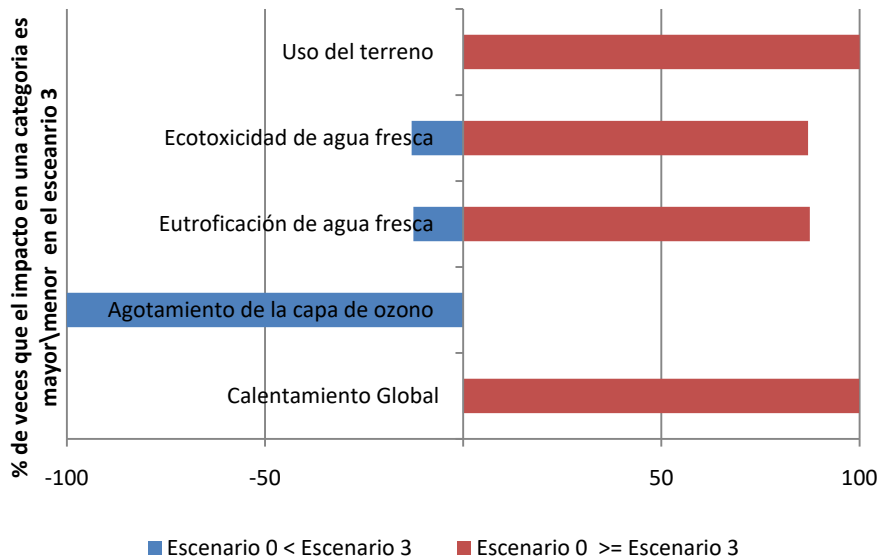


Figura 5. Análisis de Incertidumbre de la Comparación del Escenario 3 (A) con el Escenario Base (B)

4. CONCLUSIONES

1. El análisis de incertidumbre realizado mediante el método de Monte Carlo posibilitó obtener la desviación estándar y el coeficiente de variación asociados al uso de datos y modelos para cada categoría de impacto. Las incertidumbres de cada uno de los procesos fueron tomadas de la base de datos Ecoinvent. En todos los escenarios y para categorías consideradas en el estudio el coeficiente de variación no superó el 25 %.
2. Como aspecto adicional para favorecer la toma de decisiones, se realizó una comparación entre el escenario Base (E0) y el escenario tres (E3), los resultados muestran que, en las 1000 simulaciones realizadas, el impacto de E0 resultó mayor para cuatro categorías de las cinco evaluadas, demostrándose que es factible la selección de E3.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT, por el financiamiento del Proyecto de Investigación “Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el Estado de México y estados aledaños” clave SEMARNAT-2015-1-263315 y a las Administraciones 2016-2018 y 2019-2021 del Municipio de Xalatlaco, por la información proporcionada en las Cédulas de Entrevista y las facilidades brindadas en la recopilación de información documental y de campo.

REFERENCIAS

- Barahmand, Z., & Eikeland, M., Life Cycle Assessment under Uncertainty: A Scoping Review., World, Vol. 3, No. 3, 2022, pp. 692-717. <https://www.mdpi.com/2673-4060/3/3/39>
- Behrooznia, L., Sharifi, M., & Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Comparative Life Cycle Environmental Impacts of Two Scenarios for Managing an Organic Fraction of

- Municipal Solid Waste in Rasht-Iran., *Cleaner Production*, Vol. 268, No. 20, 2020, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122217>
- CONAPO, La situación demográfica en México., Consejo Nacional de Población (CONAPO), Año 4, No. 4, 2022, pp. 1-7. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/796630/SDM_Parte1_2022.pdf
- DOF. NOM-083-SEMARNAT-2003., Publicado el 20 de octubre 2004 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), recuperado el 01 de Octubre de 2022. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004#:~:text=NORMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D083,urbanos%20y%20de%20manejo%20especial
- ECOINVENT., Allocation cut-off by classification, 2019., <https://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cutoff-by-classification.html>
- EEIA., ISO 14040., Análisis del Ciclo de Vida, Principios y Marco de Referencia., Eurofins Envira Ingenieros Asesores (EEIA), recuperado el 15 de Julio de 2021. <https://envira.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/>
- Erses, A.S., Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: A case study of Sakarya., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 94, 2015, pp. 284-293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.089>
- Google Earth., Google Earth Pro, Aplicación WEB, último acceso: 10/12/2022. <https://earth.google.com/web/search/Basurero+Municipal+Xalatlaco.+Xalatlaco.+M%c3%a9x./@19.15848424.-99.41833007.2874.07003393a.869.3669056d.35y.0h.Ot.0r/data=CigiJgokCUQUsxTnI0RAEUB-0X1rYA5AGU9hX66p01NAIXAQUT7P8VDA>
- H. Ayuntamiento de Xalatlaco., Bando Municipal Xalatlaco, 2016. <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/bdo/bdo119.pdf>
- Hernández-Berriel, M.C., Martínez-Morales, I.N., López Gasca, S.O., Ojeda-Benítez, S., Mañón-Salas, M.C., Sánchez-Zarco, Y., y de la Rosa-Gómez, I., Informe Técnico de la Evaluación de Impacto Ambiental del Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos de Xalatlaco., Proyecto: SEMARNAT-2015-1-263315, 2021.
- ISO., ISO 14040., Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework., International Organization for Standardization (ISO), 2006a. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- ISO., ISO 14044., Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines., International Organization for Standardization (ISO), 2006b. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>
- Kaza, S., Bhada-Tata, P., & Van, F., What a waste 2.0. A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050., 2018. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- López-Gasca, S.O., Propuesta de ubicación y prediseño de un relleno sanitario sustentable intermunicipal, entre Morelos y el Estado de México., Tesis presentada en opción al Grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental, en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México, 2020. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/2651>
-

- Martínez-Morales, I.N., Ecodiseño del manejo integral de residuos sólidos urbanos entre municipios del sur del Estado de México y estados aledaños., Tesis presentada en opción al Grado de Doctora en Ciencias Ambientales en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, México, 2021. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/3754>
- Nanda, S., & Berruti, F., Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review., *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 19, pp. 1433–1456. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>
- ONU, Una población en crecimiento., Naciones Unidas (ONU), 2022. <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- PRé., SimaPro database manual: Methods library., PRé Sustainability (PRé), 2020. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf>
- Salazar, E., & Alzate, W., Simulación de Monte Carlo: Análisis de una herramienta para la proyección del estado de resultados, Un estudio de Caso., *Memorias del Congreso Internacional de Costos*, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2017, pp.1-17. <https://intercostos.org/documentos/congreso-15/SALAZAR-JIMENEZ.pdf>
- SEMARNAT., Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos., Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Ambientales (SEMARNAT), mayo 2020. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Sills, D., Paramita, V., Franke, M.J., Johnson, M., Akabas, T.M., Greene, C.H., & Tester, J.W., Quantitative Uncertainty Analysis of Life Cycle Assessment for Algal Biofuel Production., *Environ, Sci, Technol*, Vol. 47, No. 2, 2013, pp. 687–694. <https://doi.org/10.1021/es3029236>
- Von Pfingsten, S., Oliver, D., Von der Assen, N., & Bardow, A., Second-Order Analytical Uncertainty Analysis in Life Cycle Assessment., *Environ, Sci. Technol.*, Vol. 51, No. 22, 2017, pp. 13199–13204. <https://doi.10.1021/acs.est.7b01406>
- Wang, Z., Jingxiang, L., Gu, F., Yang, J., & Guo, J., Environmental and economic performance of an integrated municipal solid waste treatment: A Chinese case study., *Sci. Total Environ.*, Vol. 709, 2020, 136096. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136096>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dra.C. María del Consuelo Hernández-Berriel. Conceptualización. Obtención de financiación. Análisis formal. Redacción - primera redacción. Redacción - revisión y edición. Supervisión.
 - Dra.C. Isis Neftaly Martínez Morales. Investigación. Análisis formal.
 - Dra.C. Laura Verónica Díaz Archundia. Análisis formal. Metodología.
 - Dra.C. María del Consuelo Mañón Salas. Análisis formal. Redacción - revisión y edición.
 - Dr.C. Nicolás Flores Álamo. Redacción - revisión y edición.
 - Dra.C. Elena Regla Rosa Domínguez. Conceptualización. Análisis formal. Primera redacción. Redacción - revisión y edición. Validación.
-