

ESCENARIOS DE MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS COMERCIALES

Sara OJEDA-BENITEZ¹, Samantha E. CRUZ-SOTELO², Karla GARDUÑO PALOMINO¹,
Néstor SANTILLÁN-SOTO¹, Onofre Rafael GARCÍA CUETO¹, Elizabeth RAMIREZ-
BARRETO¹, Mónica LAM-MORA²,

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México
sara.ojeda.benitez@uabc.edu.mx, nsantillan@uabc.edu.mx, rafaelcueto@uabc.edu.mx,
karla.gardunopalomino@gmail.com

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México
samantha.cruz@uabc.edu.mx

Resumen

El acelerado proceso de urbanización, el crecimiento industrial y la modificación en los patrones de consumo, han originado un incremento en la generación de residuos, que obliga buscar alternativas adecuadas de manejo que mitiguen el impacto ambiental que estos provocan. El objetivo de este trabajo es comparar escenarios de manejo de residuos sólidos comerciales para la ciudad de Mexicali, de acuerdo a sus cargas ambientales utilizando la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV). Los escenarios se diseñaron con base a la situación actual del sistema de manejo de residuos de la ciudad. Los procesos unitarios considerados para el diseño de los escenarios son la generación, recolección y transporte, separación de residuos, disposición final y reciclaje. La unidad funcional del sistema es el manejo adecuado de todos los residuos generados por los establecimientos comerciales de la ciudad de Mexicali, durante un periodo de un año. Para el inventario de ciclo de vida se utilizó el modelo IWM-2. Las emisiones calculadas por el modelo se clasificaron en cinco categorías de impacto ambiental de acuerdo a la metodología CML: calentamiento global, formación de foto oxidantes, agotamiento de recurso abiótico, acidificación y eutrofización. El escenario que incluye la separación de residuos y reciclaje es el de menor contribución en todas las categorías de impacto ambiental en comparación con el escenario en el que solo se realiza recolección y disposición final sin ningún tipo de recuperación de residuos.

Palabras claves: Análisis de ciclo de vida, escenarios, calentamiento global, residuos comerciales

Abstract

The accelerated process of urbanization, industrial growth and change in consumption patterns have led to an increase in waste generation, which requires finding appropriate management alternatives to mitigate the environmental impact they cause. The aim of this paper is to compare scenarios commercial solid waste management for the city of Mexicali, according to their environmental loads using the methodology of life cycle assessment (LCA). The scenarios were designed based on the current situation of waste management system in the city. The unit processes considered for the design of the scenarios are the generation, collection and hauling, waste disposal and recycling. The functional unit of the

system is the proper handling of all waste generated by commercial establishments in the city of Mexicali, for a period of one year. For the life cycle inventory the IWM-2 model was used. The emissions calculated by the model were classified into five categories of environmental impact according to the CML methodology: global warming, photo oxidant formation, abiotic resource depletion, acidification and eutrophication. The scenario in which waste separation and recycling are considered, represents the lower contribution in all environmental impact categories compared to the scenario where only collection and disposal is performed without any waste recovery..

Key words: Life cycle assessment, scenarios, global warming, commercial waste

INTRODUCCION

La contaminación ambiental por residuos es un grave problema, se estima que actualmente la generación de basura en muchos países se acerca a una tonelada anual por habitante y que su volumen aproximado se acerca a los 5m³ por habitante (Fierro, *et al*, 2013). Los residuos sólidos urbanos (RSU) constituyen una problemática ambiental desde su generación misma, las ciudades mexicanas no son ajenas a ésta. En este sentido las emisiones que genera el sector de residuos sólidos se consideran como una de las fuentes clave, por lo que es necesario conocer el comportamiento de los diversos flujos de residuos, entre ellos están los comerciales, para generar escenarios y buscar alternativas de mitigación. Solorzano (2003), establece la importancia de la generación de CH₄, en México, por concepto del manejo de los residuos sólidos urbanos.

El análisis de ciclo de vida (ACV) es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, a través de la identificación y cuantificación de las entradas de energía, materiales y las salidas de residuos liberados al ambiente durante todas las etapas de su existencia de la cuna a la tumba, es decir, desde la obtención de la materia prima hasta la disposición final. Bovea, *et al* (2010), señalan que su aplicación en el campo del manejo de residuos sólidos urbanos se ha enfocado en ser utilizado como herramienta de apoyo en la toma de decisiones para la selección de la mejor estrategia de gestión de residuos desde el punto de vista ambiental donde se comparan los modelos actuales de manejo de residuos contra modelos propuestos como lo reportan Ozeler, *et al* (2006), Hong, *et al* (2006), Zaho *et al*, (2009), Al-Salem y Lettieri (2009) y Hanandeh y El-Zein (2010) o bien, como indican Slagstad y Bratebo (2012) se emplea para la planeación del sistema de gestión de residuos para nuevos asentamientos urbanos, también para evaluar una parte específica del sistema de manejo como la recolección, transporte y tratamientos bajo distintos esquemas (Rigamonti *et al*, 2009; Caraban, *et al*, 2007)

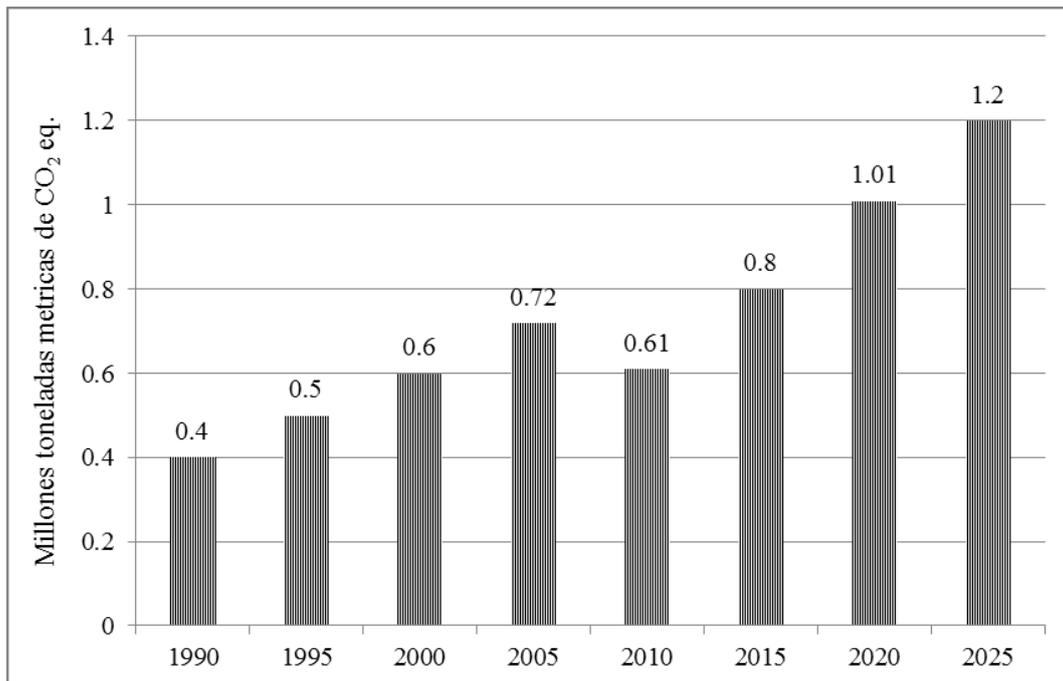
El objetivo de este trabajo fue aplicar la metodología de ACV para comparar escenarios de manejo de residuos sólidos comerciales (RSC) para la ciudad de Mexicali, de acuerdo a sus cargas ambientales utilizando el modelo IWM-2.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS COMERCIALES EN MEXICALI

La ciudad de Mexicali se encuentra situada al noroeste de México en el estado de Baja California. El municipio cuenta con una población de aproximadamente un millón de habitantes y genera en promedio 1,300 toneladas de residuos sólidos al día según datos proporcionados por el departamento del servicio de limpia del municipio. Se estima que en

la ciudad existen cerca de 20,330 establecimientos comerciales y de servicio los cuales aportan el 22% de los residuos generados (INEGI, 2011). El manejo de residuos comerciales está integrado por las operaciones de recolección mixta, transferencia, disposición final y la recuperación de algunos reciclables con valor en el mercado durante las operaciones de confinamiento en el relleno sanitario recuperando hasta un 8.8% de reciclables.

En la figura 1 se presenta una proyección de las emisiones brutas de GEI en Baja California, para el caso del manejo de los residuos sólidos, se observa que continúan aumentando y se proyecta que lleguen a los 1.2 MTmCO₂e para el año 2025.



Fuente: Chacón *et al* (2010)

Figura 1 Emisiones GEI por manejo de residuos en B.C.

3. METODOLOGIA PARA EL MANEJO DE ESCENARIOS

La metodología que se aplicó para generar los escenarios fue el ACV. Se divide en cuatro etapas: definición de objetivo y alcance, inventario de ciclo de vida, evaluación del impacto e interpretación de resultados.

3.1. Definición de objetivos y alcance

El objetivo de este estudio es comparar los escenarios de manejo de RSC para la ciudad de Mexicali de acuerdo a sus cargas ambientales, consumo de energía y volumen de residuos enviados a disposición final.

El alcance del estudio está dado por los límites del sistema que se definen por las entradas, productos y salidas de materiales, energía y residuos. Las entradas son, los residuos comerciales a partir del punto donde sale del comercio y la energía que es utilizada en el sistema de manejo de residuos. Las salidas son los residuos en forma de emisiones a la atmósfera, efluentes al agua y residuos sólidos remanentes. Los productos son los materiales recuperados.

3.2. Unidad funcional

La unidad funcional del sistema es el manejo de todos los residuos generados por los comercios localizados en el área urbana de Mexicali en un periodo de un año. Los límites del sistema están definidos a partir del momento en el que un producto pierde su valor y es depositado en los contenedores de basura y hasta que se convierte en un material inerte en el relleno sanitario o es convertido en una emisión al aire, agua o adquiere valor.

3.3. Escenarios en el manejo de residuos

Los escenarios considerados para este estudio se muestran en la figura 2, estos se diseñaron con base a la situación actual del manejo de los residuos urbanos de la ciudad y las políticas públicas en cuestión de residuos. El escenario actual se tomara como el escenario base E0 consiste en recolección mixta y disposición final en relleno sanitario sin generación de energía (GE) ni captación de gases de efecto invernadero (GEI). El escenario E1 incluye los procesos de recolección mixta, recuperación de reciclables durante las operaciones de confinamiento y disposición final en relleno sanitario sin GE y sin captación de GEI; el escenario E2 está conformado por los procesos de recolección segregada (orgánicos/inorgánicos), recuperación de reciclables en una Planta de Recuperación de Materiales (PRM), y disposición final en relleno sanitario sin GE y sin captación de GEI. Para todos los escenarios se consideró la recolección de los residuos como se realiza actualmente.

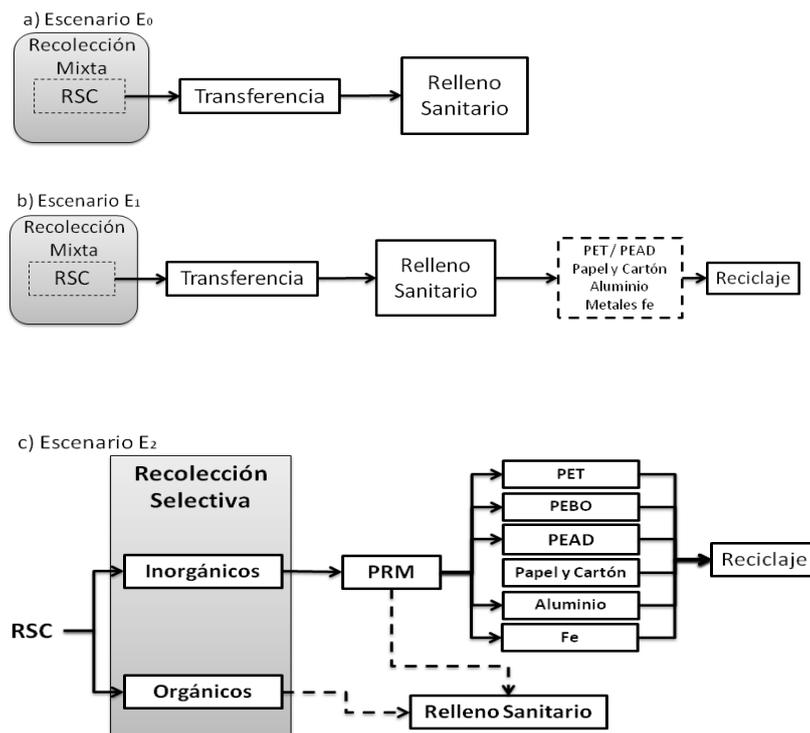


Figura. 2. Escenarios de manejo de residuos sólidos comerciales evaluados

3.4. Inventario de ciclo de vida

Los datos utilizados para generar el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) fueron recabados de distintas fuentes. Datos relativos a la generación, características, composición y transporte se obtuvieron mediante investigación de campo; los datos genéricos sobre generación de energía, tratamientos de reciclaje y segregación, se obtuvieron a través de fuentes

bibliográficas y los datos de extracción de materias primas y emisiones al ambiente y residuos totales son los resultados que arroja el modelo IWM-2.

3.4.a Recolección y transporte

Las distancias recorridas durante el proceso de recolección se estimaron identificando la localización de los comercios establecidos en la ciudad con base a la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas y trazando las rutas de recolección en un sistema de información geográfica.

3.4.b Planta de recuperación de materiales (PRM)

En el escenario actual, se realiza la recuperación de reciclables manualmente (papel, cartón, plásticos rígidos, aluminio, metales ferrosos) en el relleno sanitario, la información obtenida en campo sobre esta actividad se ingresó como datos de entrada el 8.8% de recuperación y consumo de combustible de 4kwh/ton y 2.2lt/ton.

Los datos de entrada para la PRM se estimaron en base a datos obtenidos de la literatura; para una PRM que recibe reciclables mixtos, M Dougall, *et al/* (2004) propone un consumo de combustible de 24 kwh/ y 0.87 lt/ton de diésel. Para el diseño del escenario E2 se determinó un consumo de combustibles de 20kwh/ton y 0.80 lt/ton de diésel. Se estableció como porcentaje de recuperación en PRM el 65% con base al grado de contaminación de los materiales reciclables secos de recolección en la acera y el porcentaje de reciclables rechazados en la PRM por contaminación propuestos por McDougall, *et al/* (2004)

4.4.c Relleno sanitario

Para los tres escenarios el relleno sanitario no incluye la generación de energía, ni la captación de gases, ni el tratamiento de lixiviados ya que es la condición actual y no se tienen datos que indiquen un cambio en los próximos 10 años. Se estimó un consumo de diésel de 0.2lts/ton de residuos y para la unidad de transferencia un consumo de diésel de 1.7lts/ton de acuerdo a la información proporcionada en campo.

4.5. Evaluación de impacto de ciclo de vida

Para realizar el análisis de impacto e interpretación de ciclo de vida, se estableció el enfoque de, un flujo de residuos constante y se comparó el desempeño de los diferentes sistemas de recuperación y reciclaje de residuos comerciales. Siguiendo la metodología del estándar ISO 14040-44 los resultados arrojados por el ICV se clasificaron en tres categorías de impacto ambiental potencial: calentamiento global (kg CO₂ eq.), acidificación (kg SO₂ eq.) y eutrofización (kg PO₄ eq.) además de la energía total empleada y volumen total de residuos enviados a disposición final. Los factores de caracterización aplicados a cada categoría de impacto son los propuestos por el método CML-Centrum voor Milieukunde Universiteit Leiden (Guinee, 2002).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y comparativos de las tres opciones de manejo de residuos comerciales evaluados se muestran gráficamente en la figura 3. En éstos se puede apreciar que el escenario E2 con recolección segregada y recuperación de reciclables en PRM, es el de menor contribución para las categorías de impacto de calentamiento global, acidificación, eutrofización, además de contribuir con la menor cantidad de residuos sólidos finales y

menor consumo de combustible. El escenario E0 con recolección mixta y disposición final es el mayor contribuyente en las tres categorías de impacto, residuos finales y combustibles. El escenario E1 que es el escenario actual con recolección mixta y recuperación de reciclables durante las operaciones de confinamiento resultó ambientalmente más eficiente que el E0; sin embargo E2 es mejor porque al tener recolección segregada permite un mayor porcentaje de recuperación de reciclables, lo cual evita el consumo de materia prima virgen al considerar una tasa de sustitución 1:1 de acuerdo al modelo de ICV utilizado para este estudio.

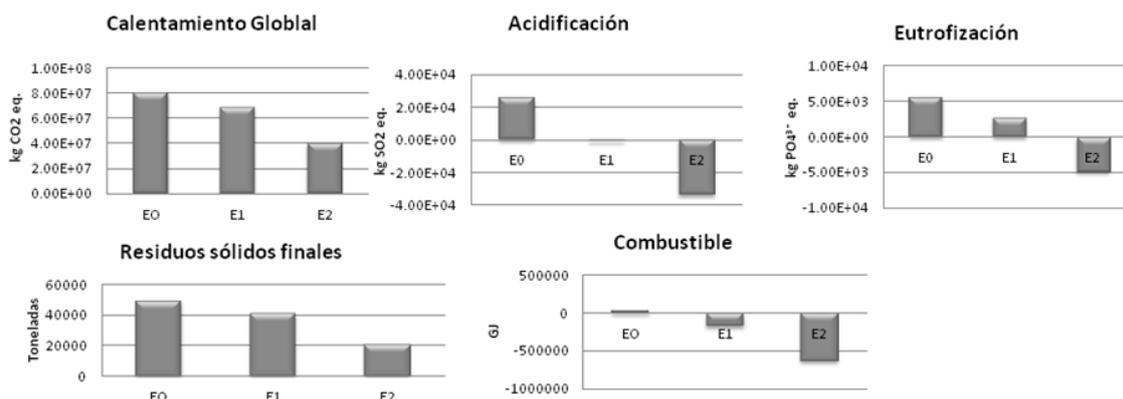


Figura. 3. Contribución de cada escenario por categoría de impacto, residuos y combustible

6. CONCLUSIONES

La metodología de ACV es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones y planeación de nuevas estrategias de gestión de residuos sólidos que ha sido poco utilizada en México. En este trabajo se evaluaron desde el punto de vista ambiental tres escenarios basados en la situación actual de la ciudad de Mexicali, destacando lo siguiente:

Los escenarios con recuperación de reciclables obtuvieron mejor desempeño medio ambiental en comparación con el escenario que no consideró esta posibilidad.

La recolección fraccionada y la segregación de materiales reciclables en la PRM del escenario E2 permiten una tasa de recuperación mayor a la recolección mixta y a la recuperación manual en el relleno sanitario, disminuyendo la carga ambiental E2.

El modelo IWM-2 considera una tasa de sustitución de material reciclable por material virgen de 1:1, sin embargo en la realidad esto puede ser distinto. Sería pertinente evaluar los escenarios con un radio de sustitución distinto.

Para elegir el mejor escenario de manejo de residuos es necesario complementar este estudio con un análisis económico y tomar en cuenta los factores sociales y de infraestructura de la ciudad.

La mitigación de las emisiones provenientes de los residuos sólidos comerciales se debe llevar a cabo a través de un programa integral de manejo de residuos, que se aplique gradualmente.

7. REFERENCIAS

Al-Salem, S.M., Lettieri, P. Life cycle assessment (LCA) of municipal solid waste management in the state of Kuwait. *European Journal of Scientific Research*. Vol. 3. 2009. pp. 395-405

Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., Colomer-Mendoza, F. J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *Waste Management*. Vol. 30(11). 2010. pp. 2383-95.

Chacón D., Giner M. E., Vázquez M., Roe S. M., Maldonado J. A. Strod B., Anderson R., Quiroz C., Schreiber J. (2010) Emisiones de gases de efecto invernadero en Baja California y proyecciones de casos de referencia 1990-2025 / 1ª. ed. Ciudad Juárez, Chih.: Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza.

Fierro A., Valdez B., Shorr M. y Romero S. (2013) Contribución de los residuos sólidos al cambio climático en Baja California. En Quintero M. (Ed.) Baja California ante el embate del cambio climático. Universidad Autónoma de Baja California. pp 251-273 Mexico

Hanandeh, A. E., El-Zein, A. "Life-cycle assessment of municipal solid waste management alternatives with consideration of uncertainty: SIWMS development and application". *Waste management*. Vol. 30(5). 2010. pp. 902-911.

Hong, R. J., Wang, G. F., Guo, R. Z., Cheng, X., Liu, Q., Zhang, P. J., Qian, G. R. "Life cycle assessment of BMT-based integrated municipal solid waste management: Case study in Pudong, China". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 49(2). 2006. pp. 129-146

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011. Directorio estadístico nacional de unidades económicas, en línea. www.inegi.org.mx

Ozeler, D., Yetiş, U., Demirer, G. N. "Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study". *Environment international*. Vol. 32(3). 2006. pp. 405

McDougall, F., White, P., Franke, M. y Hindle, P. *Gestión integral de residuos sólidos: Inventario de ciclo de vida*. 2004. Procter and Gamble Industrial, S.C.A. Venezuela. 507

Solórzano, G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. *Gaceta ecológica*, (66), 7-15..

Zhao, W., Voet, E., Zhang, Y., Huppes, G. "Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: case study of Tianjin, China". *The Science of the total environment*. Vol. 407(5). 2009. pp. 1517-1526

8. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CONACYT por el apoyo para el desarrollo de esta investigación y al Programa de Movilidad Académica 2014 de la UABC.