

Investigación en las Ciencias con Pertinencia



Universidad Veracruzana

Región Poza Rica – Tuxpan

CICS 2015

Tuxpan, Veracruz, México



Libro electrónico online

ISBN 978-1-939982-09-4

Huella de Carbono en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos: Caso Acapulco, Guerrero

Yuridia Azucena Salmerón Gallardo¹, Dr. René Bernardo Elías Cabrera Cruz²,
Dra. Ana Laura Juárez López³ y Dra. Laura Sampedro Rosas⁴

Resumen—En este trabajo, se calculó la huella de carbono para el manejo de los residuos sólidos urbanos del municipio de Acapulco, Guerrero; a partir de la cuantificación de emisiones de gas de efecto invernadero en toneladas anuales de dióxido de carbono equivalente. Se utilizó la herramienta de cálculo para las emisiones de gas de efecto invernadero en el manejo de los residuos sólidos urbanos mediante el método de análisis de ciclo de vida. Se utilizó el modelo mexicano de biogás versión 2.0 para estimar la recuperación del biogás y la reducción de las emisiones. Los resultados obtenidos proporcionan información de gran utilidad en el proceso de decisión y planificación a través de acciones específicas como la captura del biogás generado por el metano de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos que contribuyen al cambio climático y el calentamiento global.

Palabras clave—Huella de carbono, GEI, MRSU, CO₂

Introducción

La generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) está vinculada a la población y urbanización, y representan un reto importante debido a las características de los municipios en los que la gestión de los desechos se lleva a cabo. El Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (MRSU) genera afectaciones económicas, sociales y ambientales ocasionando impactos en aguas superficiales y subterráneas, en el aire, en la flora y fauna, y en el paisaje (Zhou *et al.*, 2011). El sector de los residuos, es una fuente de contaminación en un sistema urbano, ya que todos los procesos del MRSU producen emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), incluidos los procesos de generación, recolección, transporte, compostaje, y principalmente los Sitios de Disposición Final (SDF) (USEPA, 2012). Entre 1990 y 2005, las emisiones de metano global de RSU en rellenos sanitarios aumentó en aproximadamente un 12% y ocupan el quinto lugar entre todas las fuentes de CO₂ (USEPA, 2012). La generación de RSU y las emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI) aportadas por el biogás que se produce en la descomposición de los RSU en los SDF contienen CH₄, CO₂ y otros contaminantes carcinógenos que generan una problemática al ambiente y efectos adversos a la salud. El metano emitido en los SDF representa una importante contribución al cambio climático por ser un gas de efecto invernadero (Woon y Lo, 2013). Algunos problemas para el bienestar público incluyen el mal olor del biogás y el potencial de migración del mismo dentro y fuera de los SDF que podría causar incendios y/o explosiones (US EPA, 2009).

El calentamiento global resultado de las crecientes concentraciones de GEI en la atmósfera por las actividades humanas ha intensificado el efecto invernadero natural, a través de emisiones antropogénicas de GEI, lo que resulta en el cambio climático. En los SDF de RSU se generan GEI, a través de las emisiones de CO₂, CH₄ y óxido nitroso (N₂O) (IFEU, 2009). El sector del MRSU y el sector del manejo de aguas residuales contribuyen al efecto invernadero antropogénico en un 2.7% de las emisiones globales de GEI (INECC, 2010), estas emisiones de GEI en países en desarrollo y economías emergentes son altamente relevantes por el alto porcentaje de componentes biodegradables.

La cantidad de GEI que se emite a la atmósfera por el MRSU de manera directa e indirecta teniendo en cuenta todas las fuentes pertinentes, dentro de un sistema espacial y temporal expresado en términos de CO₂ equivalente (CO₂ eq), se define como la Huella de Carbono (Cifrian *et al.*, 2012). La Huella de Carbono calcula las emisiones contaminantes de GEI en el MRSU, totalizadas en toneladas de CO₂ equivalente (Chen y Lin, 2008). Este cálculo obedece a preocupaciones de desarrollo social y económico, así como al problema del cambio climático global (Bogner *et al.*, 2007). La medición y la reducción de GEI a través de la Huella de Carbono se utiliza como herramienta de mitigación a fin de apoyar la toma de decisiones y el análisis de políticas para dar seguimiento en el tiempo en virtud de los impactos del cambio global (Cifrian *et al.*, 2012).

¹ Yuridia Azucena Salmerón Gallardo; estudiante del Programa de Posgrado en Ciencias Ambientales en la Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Guerrero. yasg_1009@hotmail.com (**autor correspondiente**).

² El Dr. René Bernardo Elías Cabrera Cruz es Profesor-Investigador en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. rcabrera@yaho.com.mx

³ La Dra. Ana Laura Juárez López es Profesora Investigadora en la Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional en la Universidad Autónoma de Guerrero. analaura43@hotmail.com

⁴ La Dra. Laura Sampedro Rosas es Profesora Investigadora de la Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional en la Universidad Autónoma de Guerrero. laura_1953@live.com.mx

La Asociación Internacional de Residuos Sólidos por sus siglas en inglés ISWA, plantea el uso de herramientas para desarrollar y garantizar la aplicación de instrumentos de política ambiental con el fin de cumplir objetivos y metas ambientales en el MRSU (ISWA, 2009). Estas herramientas ayudan en la toma de decisiones, en la formulación, aplicación y evaluación de estrategias y medidas de política para promover la transición sistemática hacia la gestión de RSU sostenibles (Yabar *et al.*, 2012). En este trabajo se calculó la Huella de Carbono en el MRSU del municipio de Acapulco, Guerrero. Se utilizó la herramienta de cálculo para las emisiones de GEI en el MRSU. Esta herramienta calcula las emisiones de las fracciones de residuos reciclados (vidrio, papel y cartón, plásticos, metales, residuos orgánicos) así como las futuras emisiones generadas durante la degradación de los residuos que se envían a los SDF. Se utilizó el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 con el objetivo principal de evaluar la reducción de la Huella de Carbono al capturar y utilizar el biogás generado por el MRSU del municipio de Acapulco, ya que además de los beneficios energéticos del uso del biogás, la captura de este, ayuda a reducir las emisiones al ambiente que ocasionan significativamente la contaminación del aire y que potencialmente pueden causar daños a la salud pública.

Descripción del Método

Herramienta de cálculo para las emisiones de GEI en el MRSU. Esta herramienta sigue el método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Se basa en Excel como una hoja de cálculo que suma las emisiones de todos los residuos o de flujos de reciclaje, respectivamente, y calcula las emisiones totales de GEI en toneladas anuales de CO₂ eq. El cálculo de las emisiones de GEI considera cargos, créditos y resultados netos. Los cargos, son las emisiones de GEI causadas por el reciclaje y la disposición final de residuos. En el reciclaje, las actividades que sustituyen a materias primas o combustibles fósiles se calculan en forma de créditos de acuerdo a las emisiones evitadas en los procesos correspondientes. La diferencia entre los débitos y créditos proporcionan el resultado neto de emisiones de GEI proveniente de los RSU. El valor estimado sigue la sistemática de los insumos de la herramienta de cálculo para el escenario llamado Situación 1 *Status Quo*. Este escenario se refiere a la situación actual del municipio de Acapulco donde los residuos que se envían a los SDF presentan prácticas que se deben evitar ya que plantean riesgos para la salud de la población y dañan el medio ambiente; ellas incluyen a los residuos que no se recogen regularmente, por lo general son dispersos o dispuestos en un tiradero que se queman a cielo abierto (incluso directamente en los hogares), produciendo grandes cantidades de sustancias extremadamente tóxicas como dioxinas, furanos, hidrocarburos aromáticos entre otros; también incluye tecnologías simples de tratamiento y disposición final como rellenos controlados o SDF sin recolección de biogás (IFEU, 2009). Para efectos de la determinación de las emisiones de GEI en el MRSU en el municipio de Acapulco, Guerrero; se insertaron los datos que la herramienta requería para la realización del cálculo de las emisiones. Se consideró el número de población total obtenido de la información de los principales resultados por localidad del censo poblacional (INEGI, 2010). Para la tasa específica de generación de RSU se tomaron los valores contenidos en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT, 2010) y los datos específicos por default recomendados para economías de mediano ingreso (IFEU, 2009). Con los resultados de generación diaria y anual de residuos per cápita, el número de habitantes y la información proporcionada por el programa de acuerdo a los antecedentes y características del *Status Quo*, se calculó la Huella de Carbono en el MRSU del municipio de Acapulco.

Modelo Mexicano de Biogás versión 2.0. Este Modelo se elabora en una hoja de cálculo de Excel que opera bajo el sistema operativo Windows XP; se basa en una ecuación de degradación de primer orden para el cálculo de la generación de biogás usando cantidades de residuos dispuestos acumulados a través de un año. El Modelo de Biogás, provee automáticamente valores en base a la información que se introduce. Los cálculos se desarrollan usando datos específicos del clima, de la caracterización de residuos y de las prácticas de disposición de residuos de las regiones de México (US EPA, 2009). El Modelo proporciona el Índice de generación de metano originado por la descomposición de los residuos orgánicos presentes en los SDF. El índice de generación de metano representa la capacidad potencial para generar metano en un SDF (componente principal del biogás). Provee valores para el Índice de recuperación de biogás; esta línea base de la recuperación se utiliza en proyectos que buscan créditos de carbón y está definido como la cantidad de biogás recuperado. La composición del biogás asumida por el Modelo Mexicano de Biogás es de 50% CH₄ y 50% otros gases, que incluyen CO₂ y trazas de otros compuestos. El Índice de generación de metano y el Índice de recuperación de biogás para cada año de proyección se determinan en metros cúbicos por hora (m³/hr). La eficiencia de captura se estima en toneladas anuales de reducción de emisiones de CO₂ equivalente. Para los resultados de las estimaciones de caracterización de los residuos de la zona, la disposición anual y los índices de generación y recuperación de biogás, se introdujeron datos específicos como el año de apertura, año de clausura, índices de disposición anual, ubicación del sitio y se respondieron interpelaciones referente a las condiciones físicas pasadas y presentes del sitio.

Resultados

El municipio de Acapulco, Guerrero cuenta con una población de 789,971 habitantes (INEGI, 2010). De acuerdo a los resultados de la herramienta de cálculo para las emisiones de GEI en el MRSU se generan 1,10 kg per cápita/día y 402 Kg per cápita/anales de RSU. La generación total de RSU en el municipio es de 317,173 ton/anales; de esta cantidad de RSU generados en el municipio; el 6% es decir 19, 728 ton/anales se reciclan por el sector informal. Los materiales que principalmente se reciclan son el papel y cartón, plásticos, metales ferrosos, Textiles, vidrio y aluminio. El 94% de los RSU que se generan (297, 445 ton/anales) son depositados. El 60% de los RSU se depositan en el relleno sanitario controlado, el 20% en tiraderos silvestres, el 10% se quema al aire libre y el otro 10% se deposita de manera dispersa (Figura 1).

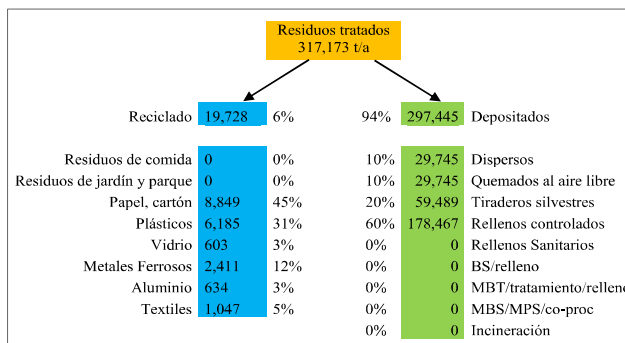


Figura 1. Tratamiento y disposición final de los RSU que se generan en el municipio de Acapulco.

Para el reciclaje y las actividades de disposición final, la herramienta de cálculo para las emisiones de GEI en el MRSU muestra los cargos, 412,367 ton/anales de CO₂ eq que son las emisiones generadas por los residuos reciclados y la disposición final de los RSU. Los créditos, -33,437 ton/anales de CO₂ eq, son valores negativos por las emisiones evitadas de los RSU que se reciclan; y los resultados netos es decir, la diferencia entre los débitos y créditos (Tabla 1).

	Residuos reciclados	Disposición final	Total RSU	Descripción
Cargos	8,459	403,908	412,367	Emisiones generadas por la disposición final
Créditos	-33,437	0	-33,437	Emisiones evitadas por RSU reciclados
Neto	-24,978	403,908	378,930	Huella de Carbono

Tabla 1. Resultados de las emisiones de GEI en el MRSU del municipio de Acapulco.

La herramienta de cálculo totaliza la Huella de Carbono del MRSU del municipio de Acapulco de acuerdo a los resultados para las emisiones de GEI que se generan en el reciclaje y la disposición final. En la Figura 2, se muestran los cargos, créditos y resultados netos para el 6% de los RSU que se reciclan en el municipio, para el 94% de los RSU de las actividades de disposición final y para el total de RSU que es la suma de ambos componentes. El resultado neto, es decir, la Huella de Carbono por el manejo de los RSU en el municipio de Acapulco es de **378,930 ton/anales de CO₂ equivalente**.



Figura 2. Huella de Carbono (Emisiones de GEI en toneladas anuales de CO₂ equivalente).

Los cálculos realizados por el Modelo Mexicano de Biogás proporcionan la caracterización específica de los RSU para el municipio de Acapulco. El 32.2% de los RSU que se generan son inorgánicos, el 67.8% son RSU orgánicos con un porcentaje de gradación del 16.0% (Tabla 2).

<i>Categoría de residuos. Datos específicos para Acapulco, Gro.</i>			
Comida	38.4%	Pañales	2.0%
Papel y Cartón	12.0%	Metales	3.0%
Poda (jardines)	8.0%	Construcción y Demolición	10.0%
Madera	1.0%	Vidrio y Cerámica	5.0%
Caucho, Piel, Huesos y Paja	1.0%	Plásticos	10.0%
Textiles	4.0%	Otros Inorgánicos	2.6%
Papel higiénico	3.0%		

Tabla 2. Caracterización de los RSU del municipio de Acapulco, Guerrero.

La información capturada en el Modelo de Biogás arroja los resultados que se muestran en la Tabla 3. Estos datos indican la generación y la cantidad de biogás que se podría recuperar si el municipio implementara esta medida de mitigación para el año 2016 a fin de reducir la Huella de Carbono. Las proyecciones que se estiman a través del Modelo, indican un incremento anual estimado de disposición de RSU y generación de biogás del 2%.

Año	Disposición (Ton/año)	Generación de Biogás (m ³ /hr)	Recuperación de Biogás Estimada (m ³ /hr)	Reducción de Emisión Estimada		Reducción de la Huella de Carbono (Ton CO ₂ eq/a)
				(Ton CH ₄ /a)	(Ton CO ₂ /a)	
2014	354,000	4,025	0	0	0	
2015	361,100	4,182	0	0	0	
2016	368,300	4,337	2,949	9,249	194,225	203,474
2017	375,700	4,489	3,053	9,574	201,050	210,624
2018	383,200	4,640	3,155	9,895	207,797	217,692
2019	390,900	4,789	3,257	10,213	214,482	224,695
2020	398,700	4,938	3,358	10,530	221,127	231,657

Tabla 3. Generación y recuperación de biogás del MRSU del municipio de Acapulco.

En el año 2014 la disposición de RSU fue de 354,000 toneladas, estos residuos generaron 4,025 m³/hr de biogás que no obtuvo una recuperación, para el año 2015 se estima un aumento del 2%. Si en el 2016 en el municipio de Acapulco se realiza la captura del biogás habría una reducción de emisiones de metano estimada de 9,249 ton/a, una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de 194,225 ton/a y en total una reducción de la Huella de Carbono de 203,474 toneladas de CO₂ eq/a.

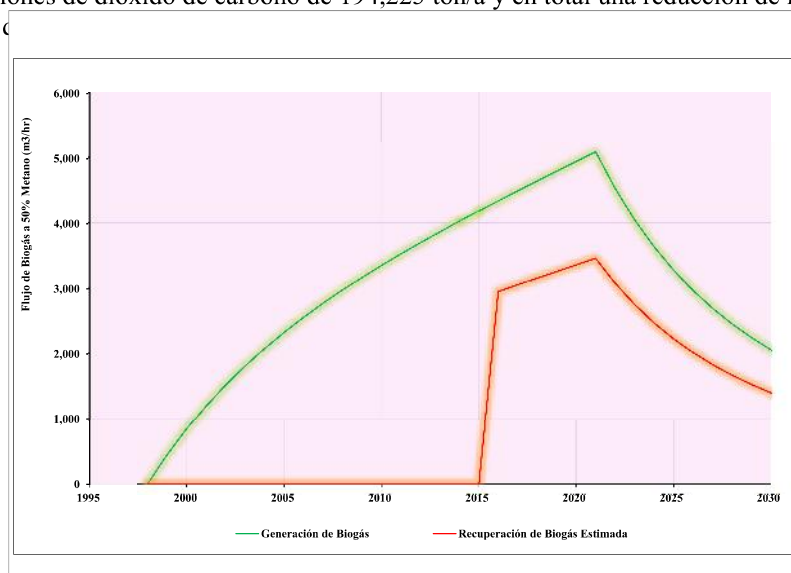


Figura 3. Proyecciones de generación y recuperación de biogás.

Conclusiones

En el municipio de Acapulco, Guerrero el MRSU se sitúa en el Escenario 1, *Status Quo*. Los residuos son parcialmente reciclados por el sector informal. Algunas áreas no están cubiertas con los servicios de recolección por lo que se depositan en SDF no controlados en condiciones anaerobias produciendo metano; otra parte se desecha en tiraderos y montones en condiciones aeróbicas, produciendo principalmente CO₂, algunos residuos dispersos se queman en fogatas produciendo contaminación atmosférica. La herramienta de cálculo para las emisiones de GEI en el MRSU estima una generación total de 317,173 ton/anales de RSU. El modelo Mexicano de Biogás calcula una generación total de 354,000 ton/anales, este último no considera las fracciones de residuos que se reciclan ni otras actividades de disposición de RSU que existen en el municipio. La Huella de Carbono por el MRSU en el municipio de Acapulco, de acuerdo a la herramienta de cálculo para las emisiones de GEI en el MRSU es de 378,930 ton/anales de CO₂ equivalente. El Modelo Mexicano de Biogás estima una reducción de emisiones de metano de 9,249 ton/a, de dióxido de carbono de 194,225 ton/a y en total una reducción de la Huella de Carbono de 203,474 toneladas anuales de CO₂ equivalente con un 68% de eficiencia de captura de biogás. Si para el 2016 en el municipio de Acapulco se realizara la captura del biogás se reducirían 203,474 toneladas anuales de CO₂; es decir, el 54% del total de la Huella de Carbono, lo que contribuiría significativamente a mejorar las condiciones de salud pública y protección del ambiente, ya que las proyecciones de disposición de RSU y generación de biogás muestran que la producción de metano en el municipio de Acapulco aumenta a lo largo del tiempo, debido al proceso de descomposición de los residuos. La herramienta de GEI en el MRSU y el Modelo Mexicano de Biogás, son metodologías alternativas que proporcionan datos específicos para el municipio. Los resultados sobre la Huella de Carbono brindan información de utilidad para los gobiernos municipales en el proceso de decisión y planificación a través de acciones específicas como la captura del biogás generado por el metano del SDF del municipio de Acapulco para reducir la Huella de Carbono en el MRSU.

Referencias

- Bogner J., Ahmed M., Diaz C., Faaij A., Gao Q., Hashimoto S., *et al.* In: Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. "Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment," *report of the intergovernmental panel on climate change, IPCC*. Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 2007.
- Chen T.C. y Lin C.F. "Greenhouse gases emissions from waste management practices using life cycle inventory model," *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 1–2, No. 155, 2008.
- Cifrian E., Galan B., Andres A. y Viguri J. R. "Material flow indicators and carbon footprint for MSW management systems: Analysis and application at regional level, Cantabria, Spain," *Resources, Conservation and Recycling* No. 68, 2012.
- IFEU. "Manual de la herramienta de cálculo de gases de efecto invernadero en el manejo de residuos sólidos," Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2009, (en línea), consultado por internet el 04 de abril de 2015. Dirección de internet: <https://www.kfw.de/kfw.de.html>
- INECC. "Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero," *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2010*, (en línea), consultado por internet el 10 de marzo 2015. Dirección de internet: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/685/inventario.pdf>
- INEGI. "Indicadores Principales del Banco de Información," Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2010, (en línea), consultado por internet el 07 de abril de 2015. Dirección de internet: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=12>
- ISWA. "Waste and climate change," In: Cifrian E., Galan B., Andres A. y Viguri J. R. "Material flow indicators and carbon footprint for MSW management systems: Analysis and application at regional level, Cantabria, Spain," *Resources, Conservation and Recycling* No. 68, 2012.
- US EPA. "Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0," *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2009*, (en línea), consultado por internet el 20 de Abril de 2015. Dirección de internet: <http://www.epa.gov/lmop/international/mexicano.html>
- SEMARNAT. "Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos," Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010, (en línea), consultado el 08 de mayo de 2015. Dirección de internet: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnosticobasico2012.pdf>
- US EPA. "Global Anthropogenic Non-CO₂Greenhouse Gas Emissions: 1990–2030" *Report 2013*, (en línea), consultado por internet el 24 de abril de 2015. Dirección de internet: <http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/EPAAactivities/MAC.pdf>
- Woon K.S. y Lo I.M.C. "Greenhouse gas accounting of the proposed landfill extension and advanced incineration facility for municipal solid waste management in Hong Kong," *Science of The Total Environment*, 2013.
- Yabar H, Hara K, Uwasu M. "Comparative assessment of the co-evolution of environmental indicator systems in Japan and China," *Resources Conservation and Recycling*, No. 61, 2012.
- Zhou C., Liu J., Wang R., Yang, W. y Jin, J. "Energetic assessment of municipalsolid waste management system in south Beijing," *Ecol. Complex*, No. 7, 2011.