



Cuadernos de Investigación del Posgrado en Economía, sede IIEc

Evaluación económica-ecológica de las alternativas para mitigar gases de efecto invernadero en la Ciudad de México.

Por el manejo de los residuos sólidos urbanos

Juana Itzchel Nieto Ruiz*

1



*Doctora en economía egresada del Posgrado en Economía del Instituto de Investigaciones Económicas.

En línea en <https://iiec.unam.mx/investigacion/cuadernos>

Cuadernos de Investigación de Posgrado No.1, septiembre 2017.

Las opiniones aquí expresadas son propiedad de los autores y pueden no coincidir con las del IIEc.

Presentación

Con el propósito de fomentar la discusión de los resultados de investigación obtenidos por los alumnos de doctorado y maestría, del **Programa de Posgrado en Economía del Instituto de Investigaciones Económicas**, se publica la serie **Cuadernos de Investigación de Posgrado**.

El objetivo de los **Cuadernos** es promover el intercambio de ideas y el debate entre la comunidad académica, con la intención de que los autores enriquezcan sus trabajos, mediante los comentarios y aportaciones de sus lectores, para el desarrollo de futuras líneas de investigación.

Esta serie busca, además, difundir en un formato breve y ágil las investigaciones para que académicos, alumnos y público en general, tengan acceso al contenido de las tesis desarrolladas en el Posgrado de Economía de la UNAM, con el fin último de provocar en los lectores el interés por revisar las versiones in extenso.



Resumen

El propósito de este trabajo es analizar las alternativas técnicas para el manejo de los residuos sólidos urbanos y su contribución a la generación de gases de efecto invernadero. El marco de referencia para su estudio es la economía ecológica, porque su enfoque permite contar con información completa de los flujos de materia y energía que normalmente no son considerados en las investigaciones económicas de los procesos productivos, y que en conjunto con el análisis completo del ciclo de vida de los residuos, facilita seguir el rastro de los materiales de desecho a través de la frontera económica-ambiental [Ayres, 1999: 867-894]. La metodología propuesta resulta novedosa porque permite evaluar la gestión de los residuos como proceso y no como producto, lo que resulta en una perspectiva de estudio ya identificada como una necesidad en el campo de conocimiento de la economía aplicada a los residuos [Pires et al., 2010: 1033-1050]. Este enfoque se orienta a establecer una base científica para comparar opciones de gestión a partir de la estimación de aspectos como sus potenciales de impacto al calentamiento global, ahorro de energía y prácticas de conservación de recursos.

Los resultados de los análisis de ciclo de vida de las alternativas de manejo de los residuos y los resultados de la estimación de los costos ambientales, económicos y en la salud humana, constituye la parte medular del trabajo porque con base en la metodología planteada y la información específica para cada alternativa, se hace posible valorar y analizar los costos asociados a cada opción de gestión.

Juana Itzchel Nieto Ruiz

Doctora en economía, Maestra en ingeniería ambiental e Ingeniería Química, de la UNAM. Asesora en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

itzchelnieto@hotmail.com



Los residuos sólidos urbanos como generadores de gases de efecto invernadero

Los residuos sólidos son aquellos desperdicios que provienen de las actividades humanas, normalmente son sólidos o semisólidos y son desechados porque, en general, ya no representan ninguna utilidad para la sociedad [Tchobanoglous et al., 1982]. Los residuos sólidos urbanos (RSU) pueden estar constituidos por fracciones biodegradables y no biodegradables [Henry y Heike, 1999] que deben ser separadas con el objeto de facilitar su aprovechamiento posterior.

Entre los RSU resaltan los materiales biodegradables o residuos sólidos orgánicos (RSO), constituidos por residuos de alimentos, jardines y otros materiales orgánicos, cuya descomposición orgánica puede contribuir directamente a la liberación de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, también los residuos sólidos no biodegradables podrían representar un potencial de reducción de emisiones de GEI, en función de su reciclaje y reaprovechamiento. En esta categoría se encuentran los metales, el vidrio, los plásticos y los textiles.

En México, el desarrollo de estrategias de mitigación de GEI por el rubro de residuos sólidos urbanos y aguas residuales es importante por su contribución a la generación nacional anual de GEI, que se estima en aproximadamente 30.9 millones de toneladas equivalentes de bióxido de carbono (MtCO_2eq) correspondientes a 4.6% de la generación nacional total de GEI (estimada en 665.3 MtCO_2eq en 2013) de acuerdo con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero [INECC, 2013]. Esta cifra, es mayor al promedio mundial, que es de sólo 3.6%, como se menciona en el Programa especial de cambio climático [SEMARNAT, 2009b], y constituye un área de oportunidad muy importante para el aprovechamiento de metano y la reducción de emisiones. Ello hace relevante el análisis de diferentes alternativas de manejo para los residuos.

En el 2013, del total de las emisiones de GEI asociadas al rubro de desechos (residuos sólidos urbanos y aguas residuales) en el país, se estima que la colocación de residuos en sitios de disposición final contribuyó con el 63.2%, equivalente a 19.5 MtCO_2eq , mientras que el tratamiento de aguas residuales aportó 30.5%. Mientras que el 6.2% restante está asociado a la incineración, quema y tratamiento biológico de diferentes tipos de residuos [INE, 2013].

Además, de la potencial contribución de los RSU a la problemática global del cambio climático, la disposición inadecuada de estos residuos puede representar consecuencias ambientales negativas para la salud de la población y de los ecosistemas naturales y sus impactos están vinculados a la contaminación del suelo, cuerpos de agua y aire. Por ejemplo, los RSU de tipo orgánico pueden alterar la calidad del aire no sólo por generar emisiones GEI (como el bióxido de carbono CO_2 y el metano CH_4), sino también porque su degradación microbiana genera otras emisiones gaseosas contaminantes (como el monóxido de carbono CO , ácido sulfhídrico H_2S y compuestos orgánicos volátiles) que son peligrosos por su toxicidad y explosividad y resultan desagradables por los olores que generan [SEMARNAT, 2008a].

De los biogases emitidos a la atmósfera por la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos de tipo orgánico, el bióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso (N_2O) y el agua, integran a los principales gases de efecto invernadero (GEI) que favorecen el calentamiento global. Estos contribuyen al cambio climático, debido a que modifican la cantidad de radiación solar que la atmósfera recibe y reemite hacia el espacio, afectando la temperatura terrestre.



Una visión a largo plazo sobre la gestión de los residuos, debería considerar formas más eficientes de manejo, procesamiento y aprovechamiento de los residuos en términos energéticos y económicos. Pires, Martinho y Chang afirman que los factores que podrían transformar su gestión son los sistemas basados en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la recuperación de energía [Pires et al.,2010: 1033-1050], donde el transporte, la producción y consumo sustentable, así como, los factores sociales como crecimiento poblacional y migración, resultan esenciales para estimar la capacidad adecuada de las instalaciones de manejo de los RSU. Al enfoque de Pires (op cit.) hay que agregar formas de manejo de residuos que reduzcan otras emisiones diferentes a los GEI que se depositan en el suelo o el agua y que sean una alternativa potencial para ahorrar recursos. Tal como lo demuestran algunas de las acciones de la Unión Europea para reducir el impacto ecológico de la explotación de recursos y de sus emisiones contaminantes, las opciones de manejo de residuos se han enfocado a la recuperación de los recursos existentes en los mismos y en opciones sustentables para incrementar la eficiencia en el uso y productividad de los recursos naturales [Fricke et al., 2011: 644-648].

En México, las cifras oficiales sobre la generación de RSU, indican que en 2010 se generaron alrededor de 40,058.8 miles de toneladas anuales y la generación nacional per cápita promedio fue de 0.976 Kg/día, mientras que en el 2011 las cifras preliminares se ubicaron en 41,099 miles de toneladas anuales y 0.985 Kg/día respectivamente [AEQIG, 2011]. Mientras que en 2010, sólo en el Distrito Federal se estimó en 11,722 toneladas diarias (ton/día) de residuos, que hasta finales del 2011 eran dispuestas en el relleno sanitario de Bordo Poniente, actualmente se disponen en rellenos sanitarios del Estado de México. La generación de RSU per cápita en 2010 se estimó en 1.32 kg/habitante por día [GODF, 2010], cifra que es 35.2% mayor a la generación nacional per cápita. Esta diferencia justifica mayormente el estudio de las alternativas de gestión para los residuos en la Ciudad de México.

La gestión de los RSU desde la perspectiva de la economía

La gestión de los residuos es un tema que tradicionalmente ha sido considerado en el campo de la ingeniería. De acuerdo con André y Cerdá existe una amplia variedad de propuestas de solución para la gestión de los residuos con un sentido técnico y ambiental, y hasta hace poco tiempo la situación ha incluido la perspectiva económica [André et al., 2007: 71-91]. Es posible que las estrategias de gestión seguidas tradicionalmente, se hayan basado en soluciones al menor costo posible a corto plazo, sin embargo la necesidad de conocer y evitar los costos a más largo plazo ha hecho necesario buscar soluciones más integrales con un sentido técnico, ambiental y económico en conjunto.

La evidencia indica que la presencia de residuos en la biósfera debe ser controlada debido a su impacto sobre el entorno, porque ello representa la posibilidad de alcanzar la capacidad de carga límite de un ecosistema, entendido como una medida de la cantidad de organismos vivos que pueden ser soportados en un espacio definido, para absorber los impactos y comenzar un proceso de deterioro irreversible [Young, 2004: 2-4]. Cuando el sistema ha dejado de ser resiliente ante la magnitud del daño, se generan impactos irreversibles con costos ecológicos y económicos asociados [Peterson,2000: 323-336, Ibarrarán et al., 2003].

Para entender la naturaleza de los procesos económicos de producción y consumo, y su vinculación con los cambios en la calidad del ambiente, desde hace relativamente poco tiempo, se ha recurrido al análisis económico am-



biental de la gestión de los residuos en el marco de principios físicos, tales como las leyes de la conservación de la materia y la energía y la segunda ley de la termodinámica o de la entropía [Ruth, 1999: 855-867].

Este análisis tiene fundamento en conceptos de la economía ecológica. Constanza expone que la Tierra es considerada como un sistema termodinámicamente cerrado, donde la humanidad representa un subsistema del ecosistema global cuyas actividades económicas requieren de la energía y materiales provenientes de la Tierra y están limitadas por un rendimiento biofísico de los recursos y por la recepción, acumulación o degradación de los residuos generados en la naturaleza [Constanza et al., 1999]. Ello implica que la producción, consumo y desecho de recursos y los servicios ambientales estén determinados por las leyes de la termodinámica. Entonces la capacidad de un ecosistema para absorber la entropía que se genera, por ejemplo por la gestión y manejo de los residuos, dependerá de su posibilidad para recuperarse del impacto como resultado de su estado de conservación. De tal manera que la economía ecológica advierte sobre el riesgo de desechar una cantidad de materiales (como los residuos sólidos) mayor al que los ecosistemas pueden asimilar o de extraer recursos de los sistemas naturales a un ritmo mayor a su capacidad de regeneración [Monroy, 2006].

En el análisis económico-ecológico, se requiere de los balances de materia y energía, que son la base de la economía ecológica, porque permiten estimar las salidas de un sistema considerando los insumos de entrada y los requerimientos de energía para producir algún bien en la economía basado en la segunda ley de la termodinámica (que estudia los cambios cualitativos de materia y energía que ocurren en un proceso, a través de variaciones de la entropía en un estado de referencia hasta llegar al equilibrio).

La economía ecológica como enfoque de investigación, permite identificar flujos que normalmente no son considerados en los análisis económicos de los procesos productivos, por medio de balances de materia y energía, con lo que se hace posible seguir el rastro de los residuos a través de la frontera económica-ambiental e identificar en dónde está incompleto el ciclo, basado en el hecho de que las materias primas son extraídas del ambiente, procesadas, usadas y finalmente dispuestas como residuos [Ayres, 1999: 867-894].

Los materiales en forma de residuos son devueltos al ambiente en una forma degradada muy diferente a la que tenían cuando fueron extraídos, mientras que la capacidad del ambiente para asimilarlos es finita. Desafortunadamente, los materiales residuales y la capacidad de asimilación de la Tierra, no forman parte de un sistema de mercado y no tienen precio [Ayres, 1999: 867-894, 2004: 425-438].

La orientación al cierre del ciclo productivo, a través de la creación de sistemas para facilitar el retorno, reacondicionamiento, reutilización, y aprovechamiento de los bienes, y procurar la maximización de su vida útil, requiere de la internalización de los costos totales de la extracción, procesamiento, uso y disposición final. Por tal motivo, se requiere desarrollar o establecer criterios de evaluación integral para analizar las alternativas de gestión de los residuos que abarquen sus ciclos completos, y que a la vez permitan apoyar la toma de decisiones y controlar los problemas ambientales que se pueden generar.

La problemática de la gestión de los residuos sólidos requiere de análisis multidimensionales e integrales, que busquen la unificación de los enfoques económicos, sociales y ambientales de las implicaciones para la sociedad de la generación, manejo y aprovechamiento de los residuos en su ciclo de vida completo, desde que son generados hasta que son desechados. Este debería incluir a los componentes que intervienen en los mecanismos de generación de los residuos de una comunidad y a las concepciones sociales sobre la utilidad y valorización de los flujos de materiales y de energía, para la procuración de la conservación de los recursos y



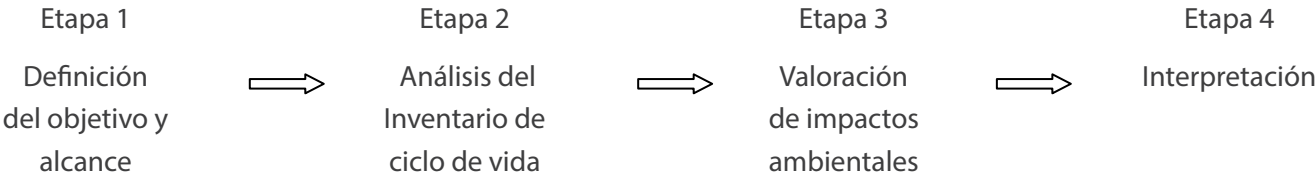
servicios ambientales. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia de líneas de investigación orientadas a considerar variables de energía y materia en conjunto para las diferentes alternativas de gestión de residuos en el marco de una misma metodología, que integre valoraciones económicas y ambientales a través de su ciclo de vida completo como residuos y no sólo enfocado a las etapas de tratamiento y disposición final. Tampoco hay valoraciones de ciclo de vida que integren los costos económicos, ambientales y sociales para los residuos sólidos urbanos.

Herramientas para el estudio de los residuos sólidos urbanos

El análisis o valoración del ciclo de vida (VCV) es un método para calcular, de manera integral u holística, la carga o efectos ambientales asociados con una actividad, producto o servicio; desde la obtención de las materias primas para fabricar un producto, la cuna, hasta el punto en que todos los residuos son devueltos a la Tierra, la tumba. De acuerdo con los límites que se establezcan para el sistema de estudio, una VCV puede realizarse de la cuna a la puerta cuando las materias primas son extraídas, preparadas y transportadas al sitio donde serán transformadas en productos terminados; de puerta a puerta que inicia con la fabricación industrial del producto y su recorrido hasta la puerta del consumidor; de la puerta a la tumba, desde que el producto es adquirido por el consumidor, utilizado y finalmente desechado [Vigon et al., 1993; y Vogtländer, 2010] y de la cuna a la cuna que considera de manera teórica el reciclado perfecto de los materiales e inicia con la extracción de las materias primas, la fabricación del producto terminado, su utilización y desecho por el consumidor y su posterior reciclaje y reintegración a la economía.

La VCV se integra de diferentes componentes separados e interrelacionados entre sí (véase figura 1). La VCV ha resultado muy útil como herramienta de análisis para el desarrollo de políticas públicas, la caracterización y optimización de procesos de manufactura o productos individuales, selección de materiales y evaluación y análisis de productos [Vigon et al., 1993; Komilis y Ham, 2004: 1390-1400]. Particularmente, en el diseño de nuevos productos o la evaluación de los ya existentes, ha sido ampliamente utilizada porque permite identificar y estimar diferentes tipos de requerimientos: técnicos, ergonómicos, económicos, legales, ambientales o culturales [Hundal, 2000].

Figura 1
Etapas del análisis de ciclo de vida



Fuente: Elaboración propia con datos de Vigon et al., [1993]

También se ha aplicado en la búsqueda de opciones para prevenir la contaminación y para diseñar tecnologías verdes, a través de una revisión cuidadosa de los consumos de energía, recursos y descargas ambientales asociadas a los procesos [Vogtländer, 2010]. Incluso, se ha utilizado para estudiar el manejo integral de los residuos sólidos



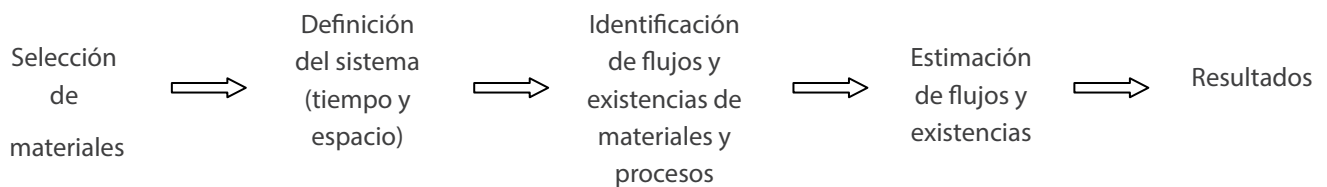
lidos, donde el establecimiento de una línea base de información en la totalidad del sistema resulta clave [Vignonet al., 1993].

En una valoración de ciclo de vida, el análisis de flujo de materiales (AFM) permite caracterizar o estimar el inventario de requerimientos de materiales y emisiones ambientales al aire, agua y suelo, relacionadas con todas las etapas del producto o proceso, a través de balances de materia.

El AFM es una valoración sistemática de los flujos y existencias de materiales de un sistema en un espacio y tiempo definidos, que relaciona el origen, vías y salidas intermedias y finales de los materiales, que pueden tener o no un valor económico en el mercado, y cuyo impacto puede ser positivo (automóviles fabricados, combustibles o materias primas obtenidas) o negativo (residuos sólidos o lodos provenientes de una planta de aguas residuales). Como resultado se genera un conjunto de datos e información completa y consistente para todo el sistema [Brunner y Rechberger, 2004] (véase figura 2).

Figura 2

Etapas del análisis de flujo de materiales



Fuente: Elaboración propia con datos de Brunner y Rechberger [2004].

En el campo de la gestión de los residuos, el AFM ha demostrado ser una herramienta importante porque permite determinar la composición de los residuos. También ha demostrado ser útil para investigar la gestión de sustancias en instalaciones de reciclaje y tratamiento, y puede contribuir al diseño de mejores productos para ser más fácilmente reciclados o tratados, una vez que resultan obsoletos y se convierten en residuos.

Las directrices metodológicas del AFM, permiten realizar una valoración sistemática de los flujos de materiales y es útil para estimar los flujos de energía de un producto o proceso, a través de su respectivo balance de energía.

En el análisis de las alternativas para el manejo de los RSU que son objeto de la presente investigación, se integran tanto transformaciones de energía como de materia. Por tal razón, la energía útil disponible para realizar un trabajo se considera como el indicador más adecuado para analizar el desempeño de las opciones de gestión de residuos, en términos de sus transformaciones de materia y energía.

El balance de materia y energía de cada proceso, debe considerar tanto las entradas de materia y energía, como las salidas de emisiones resultantes y energía útil disponible. Por ello, el balance de materia y energía para cada etapa o alternativa de gestión de residuos puede representarse con la ecuación:

$$(X_{i\text{Entrada}} * P_{c,Xi}) = S (X_{j\text{Salida}} * P_{c,Xi})$$



donde, X_i , j corresponde a las cantidades de los materiales de entrada (i) ó salida (j) del proceso en unidades de litros (l) ó kilogramos (Kg), PC es el poder calorífico del insumo de entrada o emisión de salida en unidades de Kcal/litro, Kcal/kilogramo. El resultado del balance se puede expresar en unidades de energía: calorías, joules o Btu.

Para la valoración de impactos en la presente investigación, se tiene como marco que el valor económico asociado a un bien ambiental, ya sea un servicio o un recurso natural, es una expresión monetaria de los beneficios que dicho recurso genera para la sociedad, en términos de bienestar, éste puede estar vinculado tanto al uso directo o indirecto del recurso como a motivos éticos y morales. El valor económico total de un recurso natural se integra de su valor de uso y de no uso. Freeman define el valor de uso como el valor económico asociado con el uso in situ de un recurso natural y lo clasifica en valor de uso directo, indirecto, de opción y de no uso [Freeman,2003].

Sin embargo, cuando se trata de obtener valores monetarios para un amplio rango de impactos ambientales, la falta de información es frecuente y hay gran incertidumbre acerca de los precios y valoraciones. La regla básica de la valoración de externalidades indica que se deben considerar todos los costos, tanto los que tienen un valor en el mercado como los que están fuera de él. En la economía se han desarrollado diferentes conceptos de valoración monetaria tales como [Eshetet al., 2006: 335-364]:

- 1) Asignación de valores aproximados a las externalidades, basados en el juicio de expertos e investigación.
- 2) Métodos directos e indirectos basados en la teoría del bienestar económico: maximizar el bienestar individual y social a través de la asignación óptima de los recursos y el valor que los individuos dan a sus preferencias sobre bienes ambientales que no tienen precio en el mercado.

Con base en los costos directos e indirectos se hace posible estimar los costos económicos asociados a la enfermedad, muerte u otras pérdidas intangibles derivadas de la emisión de algún contaminante. Para ello utilizan diversas herramientas como, monitoreo y modelación de los contaminantes en la atmósfera, y estudios epidemiológicos que describen la relación entre los niveles de concentración de una sustancia y sus efectos en la salud de la población, a través de funciones de dosis respuesta como morbilidad y mortalidad, así como, información de los impactos económicos derivados de la atención a la salud de la población afectada u otras pérdidas económicas [INE, 2006b].

Los efectos adversos sobre la salud humana de los principales contaminantes asociados al manejo y tratamiento de los RSU son diversos, según el inventario de contaminantes realizado. Sin embargo, estudios epidemiológicos en todo el mundo indican que las partículas como contaminante son las que representan los mayores efectos adversos sobre la salud, por ello la valoración se centra en sus emisiones.

Planteamiento metodológico de la investigación

Las herramientas de economía ecológica que proveen el marco de estudio para el análisis de las alternativas de manejo de RSU son la valoración de ciclo de vida y el análisis de flujo de materiales y energía. Estas fueron seleccionadas porque permiten integrar las variables ecológicas (materia y energía) más relevantes del proceso, para posteriormente, estimar los costos ambientales, económicos y sociales correspondientes. La propuesta metodológica se integra por dos fases principales:



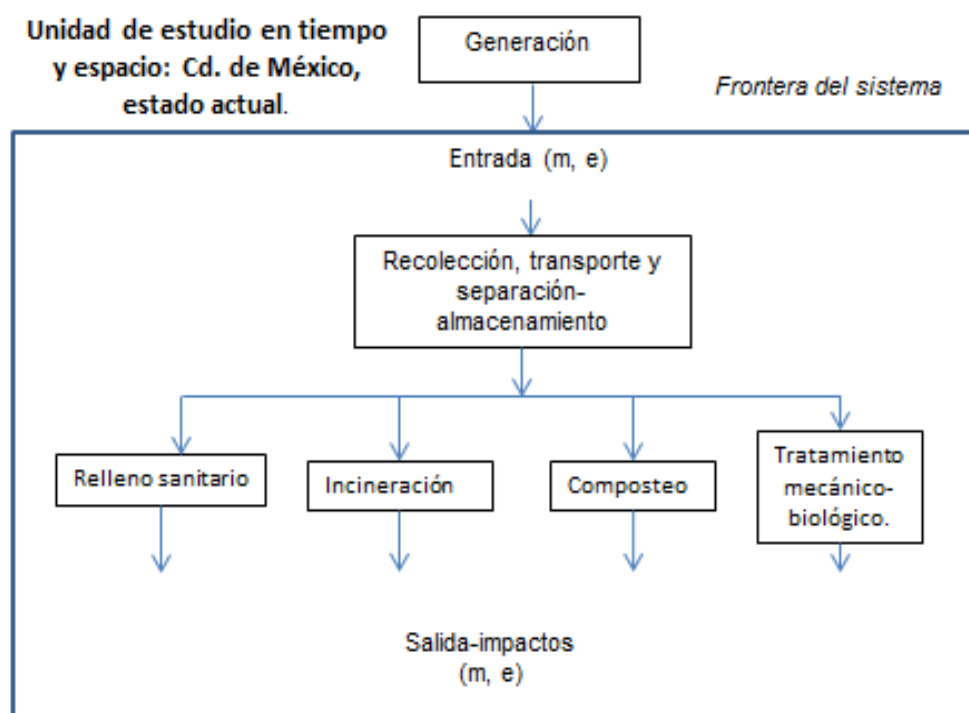
1. Valoración ambiental

- Estimación de emisiones por medio de sus análisis del ciclo de vida (ACV) y flujo de materiales y energía (AFM y AFE).
- Balance de materia y energía.
- Estimación de costos de los impactos ambientales en términos monetarios.

2. Valoración económica y social de los impactos

- Determinación de variables económicas y sociales (impactos en salud).
- Estimación de costos económicos y sociales por cada alternativa de gestión. El análisis de las alternativas de gestión de los residuos considera las etapas posteriores a su generación, de acuerdo a lo descrito por Vigonet, Tolle, Cornaby, Latham y Vogtländer; esto es: recolección, tratamiento y disposición final [Vigonet al., 1993 y Vogtländer, 2010] (véase figura 3).

Figura 3
Delimitación del sistema de estudio de la metodología de Valoración de Ciclo de Vida



La secuencia metodológica se basa en el análisis de ciclo de vida (ACV), porque es un método generalmente aceptado para comparar dos o más productos o servicios alternativos, sin embargo, el requisito previo es que la unidad funcional sea la misma. Por ello, en esta investigación se definió como unidad a la Ciudad de México, Distrito Federal (D.F.) y la valoración de impactos en cada etapa de manejo de residuos desde que son recolectados hasta que son tratados y finalmente dispuestos (véase figura 4).

La etapa que resulta fundamental es la que corresponde a la recopilación de la información de las alternativas, con la cual se integra una matriz con variables ambientales, económicas y sociales identificadas (véase tabla 1).

Posteriormente, una vez identificadas las variables ecológicas relevantes de los procesos (materia y energía), se cuantifican las entradas al sistema, tales como consumos de materiales y energía; y las salidas como la generación de emisiones (al agua, aire y suelo) y energía útil disponible, conforme a los pasos establecidos para el análisis de flujo de materiales y energía. Esto permite estimar las cantidades de productos útiles que se podrían obtener de los residuos, como composta u otros materiales secundarios, y su potencial para generar energía.

Figura 4
Metodología propuesta para analizar alternativas de gestión de residuos

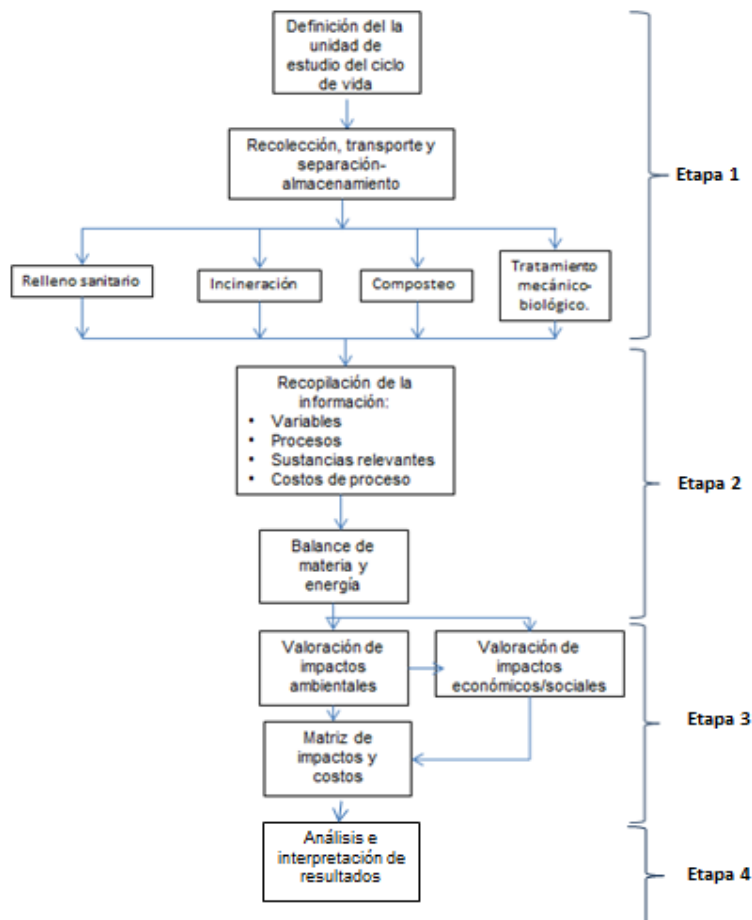


Tabla 1

Matriz de identificación de variables ambientales

	Recolección- transporte	Separación- almacenamiento	Alternativas de tratamiento/disposición final			
			Relleno Sanitario	Incineración	Compostaje	TMB*
Insumos- entradas						
Diesel	x**	x	X	x		x
Gas natural o LP				x		
Energía eléctrica					x	x
Impactos- salidas						
Emisiones GEI						
CO ₂			X	x	X	X
CH ₄			X		X	X
Otras emisiones						
CO	x	x	X	X x	X	x
H ₂ S			X			
NOx	x	x	X	X x		x
SO ₂	x	x	X	X x		x
Hidrocarburos	x	x	X	x		x
Partículas	x		X	X x		x
Metales				X		
Dioxinas y furanos				X		
Formación de lixiviados			X		X	X
Hidrocarburos			X	X		
Cenizas				X		
Generación de energía útil			X	x		x

*TMB:tratamiento mecánico-biológico.

** x variables vinculadas a la operación del proceso, x variables vinculadas directamente al tratamiento y disposición de los residuos.

Fuentes: Basado en Jiménez [2013]; Smith et al., [2001]; Camacho [2003]; Eshetet al., [2006: 335-364]; e INE [1999].

En la etapa correspondiente a la valoración de impactos ambientales, el análisis de ciclo de vida permite estudiar diferentes opciones para tratar RSU teniendo como referencia la definición de indicadores o puntos de análisis. El modelo de eco-costos de la Universidad de Delf [2013] plantea la posibilidad de utilizar un enfoque de prevención de daños para evaluar el desempeño ambiental de los procesos y estimar la carga ambiental del tratamiento de los RSU en términos monetarios. Los aspectos que éste integra son tres: costos de la reducción de la contaminación debida a las emisiones ambientales generadas, los costos de la energía y el transporte, y los correspondientes al agotamiento de los recursos naturales (combustibles fósiles, metales y madera) en consonancia con la capacidad de carga del planeta.

En relación a la valoración de los impactos económicos-sociales de las diferentes opciones de gestión de residuos, la búsqueda y estimación de costos se orienta a las variables, que en su caso, se seleccionen como relevantes de las tablas identificación de variables que se desarrolló previamente, cuyos rubros generales son:



- Requerimientos de infraestructura y operación, y sus costos.
- Requerimientos de energía.
- Tratamiento/disposición de residuos generados por las alternativas (emisiones gaseosas, lixiviados, cenizas).
- Impactos sobre la salud humana de las emisiones contaminantes.

Con dicha información se integra una matriz de identificación de variables económicas y sociales por alternativa de tratamiento/disposición final de residuos (véase tabla 2).

Como parte de la estimación de los impactos sociales vinculados a los RSU, los costos por daños a la salud se consideran como los más relevantes. Los análisis de costo-beneficios de controlar las emisiones contaminantes, como las asociadas a las alternativas de manejo de los residuos, por ejemplo, reducciones en la mortalidad y morbilidad de la población; mejoras en la visibilidad; reducción de daños en los cultivos, vegetación, ecosistemas, edificaciones y materiales; y la reducción de contaminantes que contribuyen al cambio climático, indican que las mejoras en la salud de la población frecuentemente representan la fracción más significativa del conjunto de beneficios sociales estimados en términos monetarios [INE, 2006b].

Si bien la mayoría de las investigaciones que relacionan niveles de contaminación con impactos a la salud y sus valores monetarios, han sido desarrolladas para diferentes ciudades en el mundo, existen avances metodológicos sobre la forma de realizar dichas estimaciones con datos ajustados a las condiciones específicas de México. Dicha metodología ha sido desarrollada y aplicada en otros estudios por el INE [2003 y 2006b] y es la que se toma como referencia en el presente trabajo. Sus principales pasos metodológicos se describen brevemente a continuación:

- El cálculo de costos se orienta a estimar los valores monetarios por los impactos en la salud humana por evitar casos de mortalidad cardiovascular, cáncer de pulmón, por causas respiratorias a nivel infantil, casos de bronquitis crónica, días de trabajo perdidos y días de actividad restringida por enfermedades respiratorias.
- El contaminante que se toma en consideración para el cálculo es partículas suspendidas $PM_{2.5}$.
- El enfoque que utiliza es de seguimiento de impactos (impact path way approach) y se basa en las siguientes etapas: 1) identificación de la fuente y su cuantificación; 2) cálculo de la dispersión de precursores y sus concentraciones; 3) aplicación de funciones de dosis-respuesta para estimar impactos por daños a la salud; 4) valoración monetaria de los daños, a través de valores de mercado o estimaciones contingentes, por ejemplo, disponibilidad a pagar.

De tal manera, que al conocer el volumen de las emisiones en toneladas/día, como las estimadas para las diferentes etapas del presente trabajo de investigación, es posible calcular las concentraciones en el ambiente de dichos contaminantes y asociarlas a funciones de dosis-respuesta por daños a la salud. Ello permite evaluar los casos evitados de mortalidad y morbilidad, basados en estudios epidemiológicos que relacionan las concentraciones ambientales de $PM_{2.5}$ con una respuesta en la salud.

Tabla 2

Matriz de identificación de variables ambientales

Variables	Variable de tipo económico	Variable de tipo social	Alternativas de tratamiento/disposición final			
			Relleno Sanitario	Incineración	Compostaje	TMB
➤ Costos totales de tratamiento o disposición final de residuos, \$/ton.	X		X	X	X	X
➤ Costos de operación de la alternativa \$/ año	X		X	X	X	X
➤ Costos de mantenimiento, \$/ año	X		X	X	X	X
➤ Número de empleados promedio /ton de residuos		X	X	X	X	X
➤ Horas-hombre requeridas para el tratamiento o disposición final, horas/ ton. de residuos	X		X	X	X	X
➤ Costos de impactos a la salud por las emisiones de cada alternativa (CO ₂ , CO, CH ₄ , H ₂ S, NOx , SO ₂), \$/ton		X	X	X	X	X
➤ Costos por el tratamiento de lixiviados, \$/ m ³ de lixiviados	X		X		X	X
➤ Oportunidad aprovechar los lixiviados generados en el mismo tratamiento	X				X	X
➤ Costo de la disposición de cenizas, \$/ton	X			X		
➤ Beneficios económicos por la generación de energía \$/Watt.	X		X	X		X



Para estimar los impactos en salud se siguió el modelo propuesto por el INE (op cit.):

$$I = T * P * F * \frac{e^{\Delta C \hat{\beta}} - 1}{e^{\Delta C \hat{\beta}}}$$

donde:

I = impacto a la salud (casos evitados de mortalidad o morbilidad)

T = tasa basal de mortalidad o morbilidad de la población

P = población total

F = fracción de la población afectada por grupo de edad (dependiendo del tipo de impacto bajo estudio)

$\hat{\beta}$ = estimador de la función de concentración-respuesta (riesgo relativo)

ΔC = cambio en la concentración de partículas suspendidas por año en el ambiente, ponderado por la población.

Posteriormente, la valoración económica de los beneficios o costos en la salud derivados de un cambio en la calidad del aire según las diferentes opciones de manejo de RSU, asociado a las emisiones de partículas en el ambiente, propuesta por el INE [2006b], se estimó con la siguiente ecuación:

$$IM_{T(\$)} = \sum^i (V_i \$ / caso) \times \sum^j (I_i (casos))$$

en donde:

IM_T = impacto monetario total (en dólares por año)

V_i = valor unitario del impacto i (p.e. costo de un caso de bronquitis crónica)

I_i = número de casos del impacto en la salud i (p.e. muertes, casos de bronquitis crónica, etc.)

Con lo que se puede estimar una valoración económica de los impactos en salud ajustados a México.

Finalmente, la última etapa del análisis de ciclo de vida, que integra la discusión y reporte de resultados de la investigación y el análisis de las alternativas de tratamiento para los residuos, fue el marco para discutir los escenarios de gestión de RSM para la Ciudad de México a corto y largo plazo y plantear algunas consideraciones de política pública, que deben ser tomadas en cuenta como resultado del estudio de la sinergia existente entre la economía ecológica y la política.



Estimación de costos del manejo de los residuos basados en el análisis de ciclo de vida

Con base en la metodología propuesta, se presentan las estimaciones de los costos totales por impacto en las dimensiones ambiental, económica y de salud (véase tabla 3) y las estimaciones de costos totales por impactos ambientales y económico-sociales debido a las opciones de manejo de los RSU al 2013¹ (véase tabla 4).

Tabla 3

Estimaciones de costos totales por impactos ambientales y económico- sociales debido a las opciones de manejo de los RSU al 2013 (pesos 2013/días)

Etapa/Alternativa	Costos ambientales (pesos del 2013/día)	Costos económicos (pesos del 2013/día)	Costos sociales por impactos en salud (pesos del 2013/día)	COSTO TOTAL (millones de pesos del 2013/día)
Recolección y transporte	1,186,845.04	880,485.00	3,678,983	5.7
Compostaje	46,839.09	83,000.00	500,524	0.6
Relleno Sanitario	739,382,693.45	4,020,285.57	30,868,765	774.3
TMB	2,957,391.51	3,857,070.16	30,472,015	37.3
Incineración	13,837,565.76	11,529,499.16	8,567,342	33.9

Tabla 4

Estimaciones de costos totales por impactos ambientales y económico- sociales debido a las opciones de manejo de los RSU al 2013 (pesos 2013/toneladas)

Etapa/Alternativa	Costos ambientales (pesos del 2013/ton)	Costos económicos (pesos del 2013 /ton)	Costos sociales por impactos en salud (pesos del 2013/ton)	COSTO TOTAL (pesos del 2013/ton)
Recolección y transporte	105.3	78.1	326.3	509.7
Compostaje	451.5	800.0	4,824.3	6,075.8
Relleno Sanitario	66,316.1	360.6	2,768.7	69,445.3
TMB	265.3	345.9	2,733.1	3,344.3
Incineración	1,241.1	1,034.1	768.4	3,043.6



¹ Todas las estimaciones indicadas en pesos corresponden a pesos mexicanos.

Discusión de resultados

La evaluación de alternativas para manejar RSU propuesta en la presente investigación, permite analizar diferentes opciones en tres dimensiones: ambiental, económica y social. Dicha información proporciona la base para tomar en consideración los costos y beneficios de aplicar diferentes alternativas de manera integral y de más largo plazo. También permite valorar tanto los costos totales de los impactos que las alternativas conllevan, como los costos de oportunidad asociados a la toma de decisiones del esquema que se elija como directriz para la política pública en el tema de RSU.

En la etapa de recolección y transporte de RSU, el manejo de los residuos requiere diariamente de un consumo total de 31,340 litros de diesel para su recolección y traslado, en su mayoría, a los rellenos sanitarios ubicados en el Edo. de México, a través de un recorrido Ixtapaluca-Cd. de México de más de 38 Km, y sólo una pequeña fracción es procesado en las plantas de separación y tratamiento de residuos, según estimaciones basadas en GODF [2010]. Sólo el costo económico del diesel consumido, es decir, aproximadamente 129.3 millones de pesos representa el 7.2% del presupuesto destinado para infraestructura, equipo y renovación del parque vehicular para el manejo de RSU en el D.F., en el periodo 2005-2008, equivalente a 1,780 millones de pesos [GODF, 2010].

Además, el costo total estimado en el presente trabajo, integrado por los costos ambientales, económicos y sociales, por la recolección y transporte de residuos en el D.F., es de casi 5.7 millones de pesos por día, lo que equivale a un costo diario de casi 508 pesos /tonelada de residuos, mientras que de acuerdo al modelo de eco-costos, el costo ambiental de esta etapa es de casi 28 pesos/tonelada, dichos valores resultan relativamente bajos si se comparan con los datos reportados por Acurio [1998] que ubican el costo de la recolección de los RSU entre 8 y 12 dólares/ton (100-150 pesos del 2013), mientras que el costo estándar a nivel internacional se sitúa entre 15-40 dólares/tonelada (195-520 pesos del 2013).

Al respecto cabe mencionar que, en el caso de la recolección y transporte de los residuos en México, no todos los costos asociados a esta etapa están integrados en las valoraciones económicas. Debido a la informalidad existente en el manejo de los residuos, tales como la pepena y venta no regulada de materiales con valor comercial, que benefician a aquellos que participan de forma voluntaria en dicha actividad y que generan beneficios económicos no reportados en las estadísticas oficiales. Sin embargo, ya sea que los residuos con valor comercial que son recuperados provengan de la recolección formal o informal, se estima que si se recicla sólo el 5% de los materiales que se generan diariamente en la Cd. de México, los beneficios podrían ser de alrededor de 1.2 millones de pesos/día.

Por otro lado, en México se subsidian los costos de los combustibles, que se utilizan para recolectar y transportar los residuos, ello a su vez distorsiona el precio de mercado de realizar dichas actividades.

En relación a las opciones de tratamiento y disposición final de RSU estudiadas en esta investigación, el compostaje y la disposición en un relleno sanitario, fueron alternativas complementarias entre sí y corresponden a las que actualmente se aplican en la Cd. de México. Sin embargo, también se discuten los resultados de la valoración del tratamiento mecánico biológico (TMB) y la incineración de residuos, que corresponden respectivamente a alternativas que están en fase piloto en México o que fueron utilizadas en el pasado pero que actualmente están en desuso.

Los costos del TMB en las dimensiones ambiental, económico y social son los más bajos en comparación con las otras alternativas, además, representa costos de oportunidad por el reaprovechamiento de materiales y ahorro de



energía asociada al reciclaje, como se presenta en el anexo correspondiente a los costos de oportunidad.

La disposición en un relleno sanitario resultó ser la opción menos costo-eficiente. Ello se debe a que los costos ambientales, económicos y sociales estimados, superan de manera importante a las otras opciones de manejo de residuos, como se describe a detalle más adelante. Dichos resultados concuerdan con los presentados por Miranda y Hale, quienes confirmaron que tanto los rellenos sanitarios como la incineración de residuos generan altos costos sociales y ambientales, fundamentalmente debido a sus emisiones contaminantes [Miranda y Hale, 1997].

Los resultados obtenidos por la presente investigación son muy relevantes para la política pública, porque se demuestra que la economía ecológica provee el marco idóneo para hacer una mejor toma de decisiones. El análisis de los flujos de materia y energía de las opciones estudiadas indica que la disposición en un relleno sanitario es la opción menos costo-eficiente, debido a que sus costos ambientales, económicos y sociales estimados, superan de manera importante a los correspondientes a las otras opciones analizadas. Entre las opciones de tratamiento y disposición final de RSU, la opción más costo-eficiente resultó ser el TMB seguido por la incineración.

El presente trabajo de investigación representa una herramienta para analizar la política pública de México sobre el manejo de los RSU, en el marco de referencia de la economía ecológica. Se estiman los costos que representan sus impactos económicos, ambientales y por daños en la salud de la población, para jerarquizar las opciones de manejo de residuos como posibles generadoras/mitigadoras de emisiones. Dicha información representa un primer paso para incidir en la toma de decisiones de política pública en la gestión de residuos hacia opciones más costo-eficientes.

Sin embargo, para determinar el esquema idóneo de manejo de RSU para la Ciudad de México, a fin de minimizar sus costos totales, según la escala requerida para atender el volumen de generación, tendencias futuras, directrices de política y problemática social específica, necesarios para reorientar el esquema actual de manejo de residuos, se recomienda hacer estudios complementarios para robustecer los argumentos de base para hacer una propuesta integral.

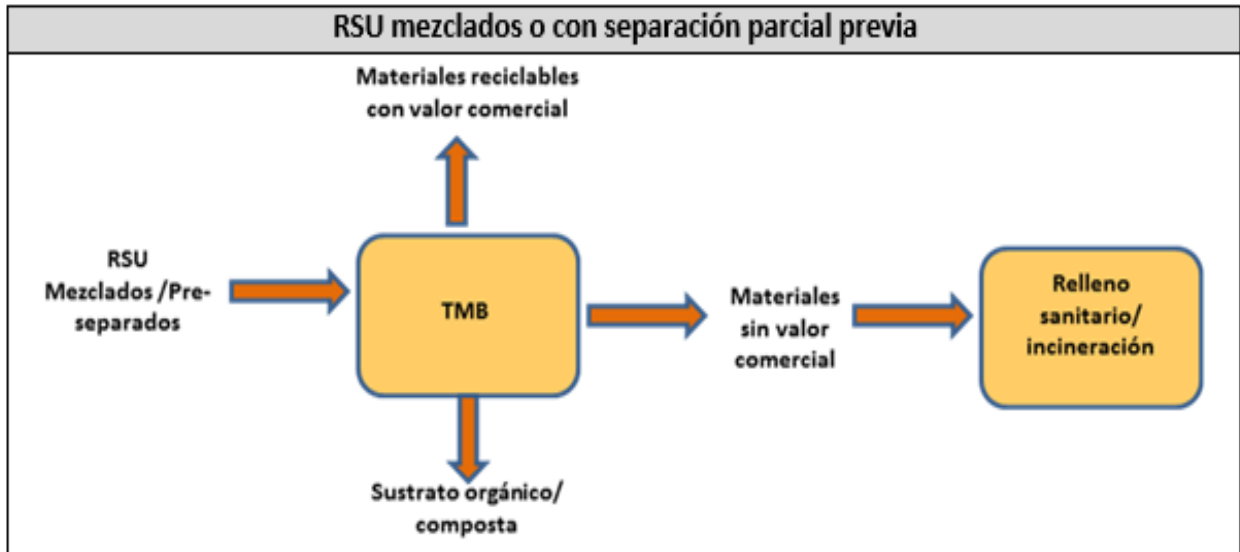
Ante la problemática presentada previamente, las primeras consideraciones de incidencia en la política pública para el manejo de los residuos deberían orientarse hacia analizar una combinación de opciones que considere a aquellas que representen los menores costos y los mayores beneficios económicos, incluyendo los relativos a sus requerimientos de recolección, separación y transporte de residuos al sitio de tratamiento y/o disposición final. Esta podría estar integrada por dos esquemas (véase figura 5). De estos resulta relevante mencionar lo siguiente: una vez estimados los costos asociados a cada etapa y opción para manejar RSU, la decisión fundamental sobre la aplicación de tecnologías estriba en la separación previa o no de los RSU, aún sin considerar la reducción de sus volúmenes de generación.

En términos de política pública, los beneficios asociados a la separación y recuperación de los materiales y energía contenidos en los residuos podrían ser argumento suficiente para replantear las directrices asociadas al manejo de los residuos, basado en los ingresos y ahorros diarios que ello representa.



Figura 5

Esquemas alternativos de manejo de RSU en la Ciudad México según su separación



En ambos esquemas, con y sin separación previa, con base en la estimación de costos económicos-ambientales y sociales, para aquellos residuos que tienen un bajo valor comercial o carecen de él y que según las estadísticas corresponden a casi el 24.12 % del total generado en el D.F. [GODF, 2010], se plantea la necesidad de utilizar el relleno sanitario y/o la incineración para el tratamiento y disposición final de los RSU, pero no como alternativas principales sino como complementarias. Incluso, aquellos residuos con bajo valor en el mercado, pero con alto poder calorífico, podrían ser reaprovechados energéticamente a través de la incineración [Poleto y Da Silva, 2009: 105-112].

La separación y reaprovechamiento de RSU con alto valor comercial, se plantea como opción para revalorizar dichos residuos y reintegrarlos a la economía por medio de su reciclaje. Lo que representaría reducir sus costos de tratamiento y disposición final, obtener mayores beneficios económicos por su aprovechamiento, generar menores emisiones asociadas a su manejo y un mejor aprovechamiento de los recursos [González, 2007; Nakamura y Kondo, 2006: 494-506].

En cualquier esquema para el manejo de los residuos, la reducción de sus volúmenes de generación desde el origen o etapa de *pre-consumo*, es decir antes de que los materiales se transformen en residuos, es posiblemente la mejor opción debido a que representa no sólo ahorros en la transformación de materias primas hacia productos que luego serán residuos, sino también ahorros en los recursos empleados para manejar los residuos generados e incluso reducciones en las emisiones asociadas a su producción y manejo.

Debido a que el enfoque que actualmente se sigue en México para el manejo de los residuos es el que tradicionalmente se ha dado a la gestión de residuos y está orientado a la solución al final del tubo cuando los residuos ya fueron generados, se considera que el escenario de manejo de residuos a corto plazo debe centrarse en el mejor aprovechamiento de los residuos, para posteriormente, orientarse hacia a un escenario a mediano plazo basado en un enfoque de pre-consumo, como ya se realiza en otros países con más experiencia en el manejo de los residuos.

Conclusiones

En economía ecológica, el análisis de ciclo de vida aplicado al manejo de los residuos sólidos es relativamente reciente y requiere avanzar en diferentes sentidos para atender los rezagos históricos sobre el manejo y tratamiento de dichos materiales, tal como lo mencionan André, Cerdá; Goddard; y Pires, Martinho y Chang [André et al., 2007: 71-91], [Goddard, 1995: 183-213 y Pires et al., 2010: 1033-1050]. La presente investigación contribuye a atender ese vacío

Los resultados permitieron atender a las interrogantes planteadas inicialmente sobre las alternativas (o su combinación) para manejar adecuadamente los residuos y reducir la generación de GEI en la Ciudad de México al menor costo económico-ecológico. Además, se analizó la disposición final de los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios como opción para la Ciudad de México y se demostró que es la opción menos costo-eficiente entre las alternativas analizadas.

Al comparar el costo total por tonelada de residuos depositados en un relleno sanitario (RS) con el correspondiente al tratamiento mecánico biológico (TMB), se estimó que el costo del RS es casi 21 veces mayor al del TMB, donde los costos ambientales son los más relevantes. Otra opción para tratar los residuos, mejor a su de-



pósito en un relleno sanitario, es la incineración cuyos costos totales son prácticamente equivalentes al TMB pero que no considera la recuperación de materiales para su reciclaje posterior.

Por lo anterior, si una mayor proporción de residuos orgánicos y materiales reciclables fueran separados y tratados por medio de alternativas más costo-eficientes con menores costos ambientales, económicos y sociales, en lugar de depositarlos directamente en un relleno sanitario, el costo total de manejo de RSU en la Cd. de México podría abatirse y sería factible aprovechar mayormente los costos de oportunidad asociados a su manejo.

La separación y aprovechamiento de dichos residuos reduciría los costos económico-ecológicos totales asociados a su transporte, tratamiento y disposición final en los rellenos sanitarios, que después del cierre de Bordo Poniente, se ubican a una mayor distancia de la Ciudad de México, principalmente en Ixtapaluca, Estado de México, en los sitios El Milagro y la Cañada.

Por lo antes descrito, la conclusión indiscutible de este trabajo es que se requiere reconsiderar la política de utilizar al relleno sanitario como alternativa preferida para depositar los residuos y reorientarla hacia otras alternativas más costo-eficientes.

Respecto a los objetivos planteados inicialmente para esta investigación, se cumplió con el planteamiento de una metodología para estimar y analizar las implicaciones ecológicas y económicas asociadas a las alternativas de manejo de los residuos sólidos urbanos, a través de la valoración de su ciclo de vida. También se desarrolló un planteamiento metodológico novedoso basado en criterios de economía ecológica para analizar las opciones de manejo de residuos, orientado a establecer una base científica para analizar opciones de manejo basado en el análisis de ciclo de vida, a partir de la estimación de aspectos como sus potenciales de impacto al medio ambiente, ahorro de energía y prácticas de conservación de recursos y se generó información sobre el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos basada en el análisis de los costos económicos y ecológicos de su manejo, para contribuir al campo de la economía aplicada a la gestión de los residuos y apoyar la toma de decisiones.



Referencias

- Acurio, Guido; Rossin, Antonio; Texeira, Paulo Fernando y Zepeda, Francisco, [1998], Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.<<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=823485>>, 17 de abril del 2013.
- AEQIG [2011], "Anexo Estadístico, Quinto Informe del Gobierno Federal", Informes de Gobierno, México, <http://quinto.informe.gob.mx/archivos/anexo_estadistico/pdf/est_nac_desarrollo.pdf>, 7 de octubre del 2011.
- André, Francisco y Cerdá, Emilio., [2007]. "Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas", Cuadernos Económicos de ICE, España, Universidad Pablo de Olavide de Sevilla-Universidad Complutense de Madrid, 71, 71-91.
- Ayres, Robert.U., [2004]. "On the life cycle metaphor: where ecology and economics diverge", Ecological Economics, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 48(4):425-438, 20 de abril del 2004.
- Ayres, Robert.U., [1999]. "Materials, Economics and the Environment", Materials, economics and the environment in Handbook of environmental and resource economics, Massachusetts, Estados Unidos, Edward Elgar Publishing, 8 (60): 867-894.
- Brunner, Paul H. y Rechberger, Helmuth., [2004]. Practical Handbook of Material Flow Analysis. Estados Unidos, Lewis Publishers 210 páginas.
- Camacho Irene., [2003]. Análisis costo-beneficio ambiental de la incineración de residuos sólidos municipales en la Ciudad de México, México, Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México, 77.
- Constanza, Robert; Cumberland, John; Daly, Herman; Goodland, Robert y Norgaard, Richard [1999], Una introducción a la economía ecológica, México, Compañía Editorial Continental, 118 páginas.
- Delf University of Technology [2013]. The Model of the Eco-costs / Value Ratio (EVR), Delf ,Holanda, <<http://www.ecocostsvalue.com/index.html>>, 25 de febrero de 2013.
- EshetTzipi., AyalonOfira., y Shechter Mordechai. [2006]. "Valuation of externalities of selected waste management alternatives: A comparative review and analysis". Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 46 (4): 335-364.
- Freeman, Myrick A [2003]. The measurement of environmental and resource values: theory and methods, Estados Unidos, Resources for the future, 346 páginas.
- Fricke, Klaus; Bahr, Tobias; Bidlingmaier, Werner y Springer, Christian., [2011]. "Energy efficiency of substance and energy recovery of selected waste fractions". Waste Management, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 31 (4): 644-648, abril del 2011.
- Goddard, Haynes C., [1995]. "The Benefits and Costs of Alternative Solid Waste Management Policies". Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 13 (3-4): 183-213.



- GODF. Gaceta Oficial del Distrito Federal [2010]. Programa General de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Distrito Federal, México, <http://www.consejeria.df.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/4c8afe2c2a738.pdf>, 13 de mayo de 2014.
- González, Ana Citlalic [2007]. Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México. Una aproximación monetaria, México, <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetas/335/reciclaje.html>>, 12 de agosto del 2013.
- Henry, J. Glynn y Heike, Gary W [1999], Ingeniería Ambiental, México, Prentice Hall, 278 páginas.
- Hundal, Mahendra [2000]. Life Cycle Assessment and Design for the Environment, Dubrovnik, Croacia, <<http://www.cems.uvm.edu/~mhundal/defrec/lcadfe.pdf>>, 7 de junio del 2013.
- Ibarrarán, María Eugenia; Islas, Ivan y Mayett Eréndira., [2003]. "Valoración económica del impacto ambiental del manejo de residuos municipales, estudio de caso", Gaceta Ecológica, Distrito Federal, México, Instituto Nacional de Ecología, 67: 69-82, abril-junio del 2003.
- INE., Instituto Nacional de Ecología, [1999], Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, <<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/133/situacion%20en%20mexico.html>>, 19 de mayo de 2011.
- INE., Instituto Nacional de Ecología, [2003], The Local Benefits of Global Air Pollution Control in Mexico City, final report. México, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, 19 páginas.
- INE., Instituto Nacional de Ecología [2006b], The benefits and Cost of a Bus Rapid System in Mexico City. Final Report, <http://www.ine.gob.mx/descargas/calair/metrobus_bca.pdf>, 10 de mayo del 2013.
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, [2013], Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, INEGI, <http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_inv_nal_emis_gei.pdf>, 3 de abril del 2015.
- Jiménez Ricardo [2013]. Análisis de alternativas para el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos de la Ciudad de México. México, Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Autónoma de México, 71 páginas.
- Komilis, Dimitris, P., y Ham, Robert. K., [2004]. "Life- Cycle Inventory of Municipal Solid Waste and Yard Waste Window Composting in the United States". Journal of Environmental Engineering, Estados Unidos, American Society of Civil Engineers, 130 (11): 1390-1400, noviembre del 2004.
- Miranda, Marie Lynn y Hale Brack., [1997]. "Waste not, want not, the private and social cost of waste to energy production". Energy Policy, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 25 (6): 587-600.
- Monroy Samuel., [2006]. Los residuos sólidos en el Distrito Federal: una propuesta de aprovechamiento. México, Tesis de Posgrado de Economía, UNAM, 173 páginas.
- Nakamura, Shinichiro y Kondo, Yasushi [2006]. "A waste input-output life-cycle cost analysis of recycling of end-of-life electrical home appliances". Ecological Economics, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 57 (3): 494-506, 25 de mayo del 2006.



- Pires, Ana; Martinho, Graca y Chang, Ni-Bin[2010]. "Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques". *Journal of Environmental Management*, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 92 (4): 1033-1050, abril del 2011.
- Peterson, Garry[2000]. "Political ecology and ecological resilience: An integration of human and ecological dynamics". *Ecological Economics*, Amsterdam, Holanda, Elsevier, 35 (3): 323–336
- Poletto, Jose A. y Da Silva Celso L., [2009]. "Influence of the Separation of Municipal Solid Wastes to Recycling in the Incineration Process with Energy Generation". *Información Tecnológica*, Sao Paulo, Brasil, Universidad Estadual Paulista, 20 (2): 105-112.
- Ruth, Matthias., [1999]. "Physical principles and environmental economic analysis", *Materials, economics and the environment in Handbook of environmental and resource economics*, Massachussetts, Estados Unidos, Edward Elgar Publishing, 855-867.
- SEMARNAT [2008a]. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México: Compendio de Estadísticas Ambientales 2008*. México, Gobierno Federal de México, 358 páginas.
- SEMARNAT [2009b]. *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*, México, Gobierno Federal de México, 281 páginas.
- Smith, Alison; Brown, Keith; Ogilvie, Steve; Rushton, Kathryn y Bates, Judith[2001], *Waste Management Options and Climate Change: Final Report*. Luxemburgo, European Commission, AEA Technology, 160 páginas.
- Tchobanoglous, George; Theissen, Hilary y Eliassen, Rolf[1982]. "Desechos Sólidos, Principios de Ingeniería y Administración", Serie: Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, <<http://www.bvsde.paho.org/acrobat/desecho2.pdf>>, 19 de marzo del 2012.
- Vigon B.W., Tolle D.A., Cornaby B.W., y Latham H.C.,[1993]. *Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*. Cincinnati, Estados Unidos, EPA, 85 páginas.
- Vogtländer, Joost G[2010]. *A practical guide to LCA for students, designers and business managers*, Delf, Holanda, Delf University of Technology, 106 páginas.
- Young Sarah[2004]. "Defining Carrying Capacity". *Carrying Capacity Literature Reviews*, <<http://www.colby-sawyer.edu/assets/pdf/CESFP2004Chapter6.pdf>>, 9 de abril del 2012.



Directorio

Directora

Verónica Villarespe Reyes

Secretario académico

César Armando Salazar López

Secretario técnico

Aristeo Tovías García

Cuadernos de investigación

Coordinador académico

César Armando Salazar López

Edición académica

Mildred Yólatl Espíndola Torres

Diseño editorial y comunicación visual

Ma. Victoria Jiménez Sánchez

