

# LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS COMO VÍA PARA GARANTIZAR LA SUSTENTABILIDAD

Claudia R. Juárez López

## **Introducción**

La sustentabilidad también denominada desarrollo sustentable, ha sido definida como “el desarrollo que cubre las necesidades del presente sin afectar negativamente la capacidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades” Esta definición identifica la sinergia entre el desarrollo económico, la igualdad social y el ambiente, por lo tanto el manejo sustentable de residuos sólidos debe ser factible económicamente, aceptable socialmente, y efectivo en términos ambientales. [1].

Las preocupaciones ambientales relacionadas con el manejo y la disposición de residuos puede dividirse en dos áreas principales: conservación de recursos y contaminación ambiental. Por lo tanto, la sustentabilidad demanda reducir la cantidad de residuos que se generan y la generación de nuevas estrategias de gestión que minimicen los impactos ambientales. Debido a ello es necesario evaluar de una manera objetiva, las implicaciones ambientales derivadas de los sistemas de gestión de residuos.

El análisis del ciclo de vida (ACV) estudia los aspectos ambientales y los potenciales impactos a través del ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de la materia prima, la producción, el uso y la disposición final. Esta herramienta objetiva y sistemática ya ha sido aplicada para evaluar los impactos ambientales de los sistemas de gestión de residuos municipales ([2], [3], [4], [5], [6], [7] [8], [9], [10] y [11], entre otros).

El objetivo de este trabajo es evaluar los potenciales impactos ambientales asociados al Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (SGIRS) de la Ciudad de México (Distrito Federal), tomando como base el sistema actual y comparándolo con cuatro escenarios de gestión de residuos propuestos para identificar el sistema mas eficiente en términos ambientales.

## **Metodología**

### **1. Límites del Sistema**

*Límite espacial.*- Este trabajo se limita a la Ciudad de México (Distrito Federal) con una superficie de 1,485 Km<sup>2</sup>, con una población de 8,720,916 habitantes [14] y presenta una tasa de generación de residuos municipales de 1.63 kg/hab/día.

*Límite temporal.*- Se considera como escenario base la gestión actual de los residuos sólidos que se sustenta en el Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal 2006 [12] y en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal 2007 [15].

*Límite por tipo de residuos.*- En este estudio se consideran los denominados Residuos Sólidos que son residuos procedentes de los domicilios, comercios y oficinas.

### **2. Unidad Funcional**

La unidad funcional de este ACV es la cantidad de residuos sólidos generados en el año 2007 en la ciudad de México, lo que equivale a 5 197 733 toneladas.

### **3. Descripción del sistema de gestión de residuos sólidos**

Los procesos que forman parte del sistema de manejo de residuos sólidos y las cantidades manejadas durante dichos proceso se describen en la Tabla 1.

3.1 *Recolección*. Las 16 delegaciones de la ciudad de México tienen a su cargo la recolección y transporte de los residuos sólidos urbanos a las estaciones de transferencia (TRA). Para realizar esta labor, se cuentan con un parque vehicular de 2,163 unidades, de los cuales 73 unidades cuentan con caja separada para la recolección simultánea de residuos orgánicos e inorgánicos. En el sistema de gestión actual sólo el 4% de los residuos son recolectados de forma selectiva (RS), mientras que el 83% son recuperados mediante la recogida general ó recogida no selectiva (RNS). Se ha estimado que el resto de los residuos son trasladados a vertederos no controlados (tiraderos clandestinos).

3.2 *Tiraderos Clandestinos (TC)*. Del total de los residuos sólidos que se genera en el Distrito Federal sólo el 86% es recogida y trasladada al vertedero controlado. El resto se arroja en calles, barrancas y lotes baldíos, a los que se les denomina tiraderos clandestinos (vertederos no controlados) [16]. En estos lugares se encuentran una amplia gama de residuos mezclados.

3.3 *Transferencia (TRA)*. La transferencia tiene como finalidad el trasvase de residuos desde los camiones recolectores, de menor capacidad, a camiones de gran capacidad que transportaran los residuos hacia las plantas de composta, plantas de selección y vertedero. Existen trece plantas de Transferencia de residuos.

3.4 *Plantas de selección (PSE)*. La Ciudad de México cuenta con tres plantas de selección de residuos sólidos, en las que se recuperan materiales reciclables.

3.5 *Reciclaje*. Los materiales que se reciclan en el Distrito Federal a partir de la clasificación realizada en las plantas de selección son: aluminio, papel y cartón, ferricos (chatarra, lámina, fierro, cobre), vidrio, plásticos y madera.

3.6 *Plantas de fabricación de compost*. La Ciudad de México cuenta con una planta de fabricación de compost, en donde se procesan los residuos fermentables para su aprovechamiento.

3.7 *Vertedero*. La Ciudad cuenta con un vertedero controlado llamado “Relleno Sanitario de Bordo Poniente-Etapa IV”, con 472 hectáreas de superficie y un área de disposición de 320 hectáreas.

**Tabla 1.** Procesos que forman parte del sistema de manejo de residuos sólidos del DF.

Abreviatura	Proceso	Descripción	Cantidad de residuos (t)	%
	Generación total		5,197,733	100
RNS	Recogida no selectiva	Recogida domiciliaria que no esta separada	4,304,969	83
PP	Pepena	Selección realizada por personas, venta individual	183,595	3.5
RS	Recogida selectiva	Recogida domiciliaria que esta separada (orgánicos-inorgánicos)	207,891	4
TC	Tiraderos clandestinos	Destino ilegales de Residuos Sólidos	684,873	13
TRA	Estaciones de transferencia	Paso intermedio entre la generación y el destino final de los Residuos Sólidos	4,013,175	77
COM	Planta de fabricación de compost,	Lugar donde los residuos orgánicos que se usan en la elaboración de composta	24,000	0.5
PSE	Plantas de selección	Lugar en donde son separados los materiales que irán a reciclaje	1,563,660	30
RR	Reciclaje		98,185	2
Rpyc	Papel y cartón 43%	Cantidad de aluminio revalorizado para reciclaje	41,945	-
Rp	Plásticos 34%	Cantidad de aluminio revalorizado para reciclaje	34,146	-
Rf	Férricos 9%	Cantidad de aluminio revalorizado para reciclaje	9,208	-

Ra.	Aluminio 5%	Cantidad de aluminio revalorizado para reciclaje	567	-
Rv	Vidrio 12%	Cantidad de aluminio revalorizado para reciclaje	12,087	-
Rma	Madera 2%	Cantidad de aluminio revalorizado para reciclaje	232	-
VER	Relleno bordo poniente	Destino final de los residuos que no pudieron ser revalorizados	4,207,080	81

#### 4. Inventario del Ciclo de Vida

La generación del inventario está basada en la información publicada en el Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal 2006 [12] y en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal 2007 [15]. Los escenarios de gestión de residuos analizados son los siguientes:

El escenario **E1** es el sistema actual de gestión de residuos, considerando a éste como la unidad funcional, se construyen otros cuatro escenarios. Los escenarios **E2** y **E3** se realiza conforme a las líneas de acciones estratégicas que se integran en el PGIRS-DF 2004-2008 [13], cuyas metas son: 1) aumentar la recogida selectiva para generar mayor composta y 2) incrementar el porcentaje de recuperación de residuos en las plantas de selección, es decir fomentar el reciclaje de materiales. Para ello, en el escenario **E2** se incrementa un 25 % la recogida selectiva, y en **E3** se incrementa el 10% de capacidad de recuperación de materiales en las plantas de selección. El escenario **E4** corresponde a las metas de recolección de residuos, fabricación de compost e incineración presentadas en el Plan Federal de Gestión de Residuos de Austria [17] sin incluir biogasificación; El escenario **E5** esta basado en las características del sistema de gestión actual pero incluyendo un proceso de incineración.

El requerimiento energético por transporte (uso de diesel y gasolina para la RS, RNS, y TC, y traslado de TRA a PSE, de TRA a COM, de TRA a VER), se estimó a partir de la distancia y el consumo promedio por tonelada transportada (rendimiento) de los camiones utilizados para dicho fin. Los factores de emisión en de los tiraderos clandestinos y vertedero controlado fueron calculados de acuerdo a los datos reportados por McDougall *et al.*, [10] y Güereca [16].

Los requerimientos energéticos de los procesos fueron estimados de acuerdo a McDougall *et al.*, [10]; para en el proceso de fabricación de compost de 30kWh/t de residuos fermentables, en las plantas de selección por 27 kWh/t en bandas transportadoras y 0.87 l/t de diesel para las palas mecánicas; y en cuanto a la electricidad requerida para el reciclaje los datos fueron estimados de acuerdo a los reportado por BUWAL, 1998. [10]

Se considera una tasa de generación de biogás de 250m<sup>3</sup>/t con una eficiencia de recolección del 40% [10], el cual es tratado por medio de antorchas y el 60% restante se fuga, en cuanto a los una producción de lixiviados de 150 l/t depositada [10], de los cuales 30% se fugan y el 70% se logran recolectar para su depuración [18], la cual se asume que se lleva a cabo mediante la tecnología Biomembrat que requiere 2 kWh/m<sup>3</sup> de lixiviados [17].

En cuanto a las emisiones al agua y al aire por la producción de reciclaje de vidrio, cartón y papel, aluminio, plásticos y residuos ferricos fueron asignadas como emisiones evitadas debido al reciclaje de dichos productos, de acuerdo a la base de datos DEAM (Ecobilan).

#### 5. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida

Las emisiones al aire y al agua fueron estimadas para cada proceso del sistema analizado, con ayuda del software TEAM 4.0 ("Tools for Environmental Analysis and

Management” -TEAM<sub>TM</sub>) se obtuvo la evaluación de los impactos del ciclo de vida. Las categorías de impacto evaluadas son acidificación, disminución del ozono estratosférico, efecto invernadero a 100 años, y efectos respiratorios.

### 3. Resultados

Figura 1. El proceso que destaca en los cinco escenarios para evitar la acidificación es la fabricación de compost. En E5 el proceso que destaca es INC, aquí la acidificación evitada obedece a los ahorros de emisiones de óxidos de azufre generados por la generación energía eléctrica. Los procesos de VER y TC son los más relevantes en esta categoría.

En la Figura 2a se observa que los cinco escenarios contribuyen al deterioro de la capa de ozono. Los procesos de VER y TC son los más relevantes en esta categoría, sus impactos se relacionan por las emisiones de CFC 11, CFC 12, Halón, HCFC 123, HCFC 22 y tricloroetano, como se aprecia en la Figura 2b. El daño evitado esta definido por COM, y Rpyc, lo cual es más evidente en E4, ya que es un proceso en el que se ahorran materias primas, lo que propicia la mitigación de emisiones que deterioran la capa de ozono.

La Figura 3, muestra que los cinco escenarios contribuyen a la categoría de efecto invernadero. Las alternativas E3 y E1 presentan contribuciones mayores con emisiones de 1.09E+06 y 1.07E+06 kg equivalentes de CO<sub>2</sub> equivalente respectivamente, los principales contribuyentes al efecto invernadero son TC, VER e INC, ya que involucran el uso de combustibles en el transporte.

La Figura 4a, el escenario E1 (el año base) es el único que presenta contribuciones a la categoría de efectos respiratorios con 7.09E-06 DALYs, el resto de los escenarios evitan el impacto, también se observa que E5 evita el daño en menor medida, con -1.54E-05 DALYs, y E4 alcanza la mitigación máxima con -2.03E-04 DALYs. La Figura 4b nos indica que VER, TC, Rp, Rf, Rv, RNS y PSE son los principales responsables de las contribuciones.

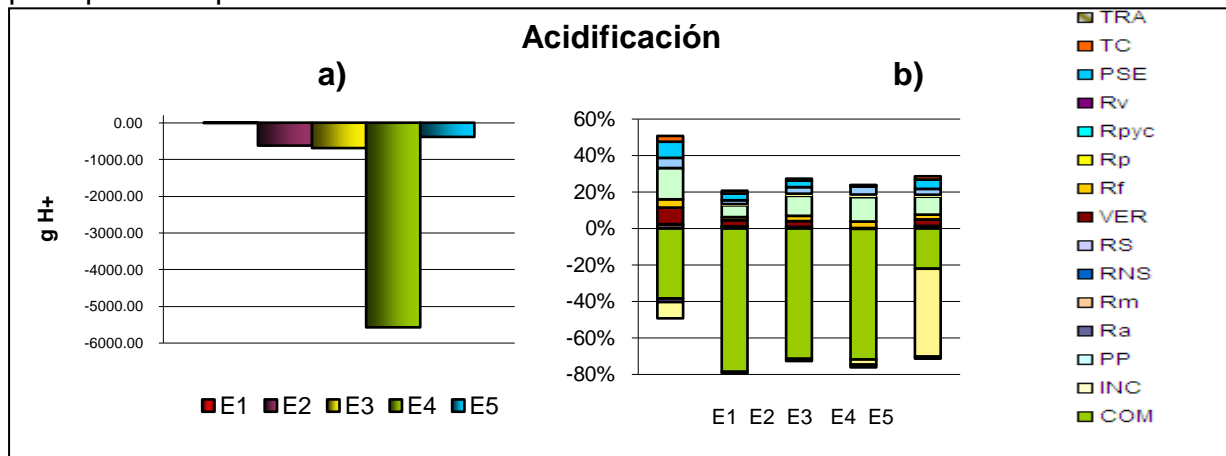


Figura 1. Contribuciones a la categoría de acidificación, a) valores totales por escenarios y b) porcentaje de aportación por procesos para cada escenario

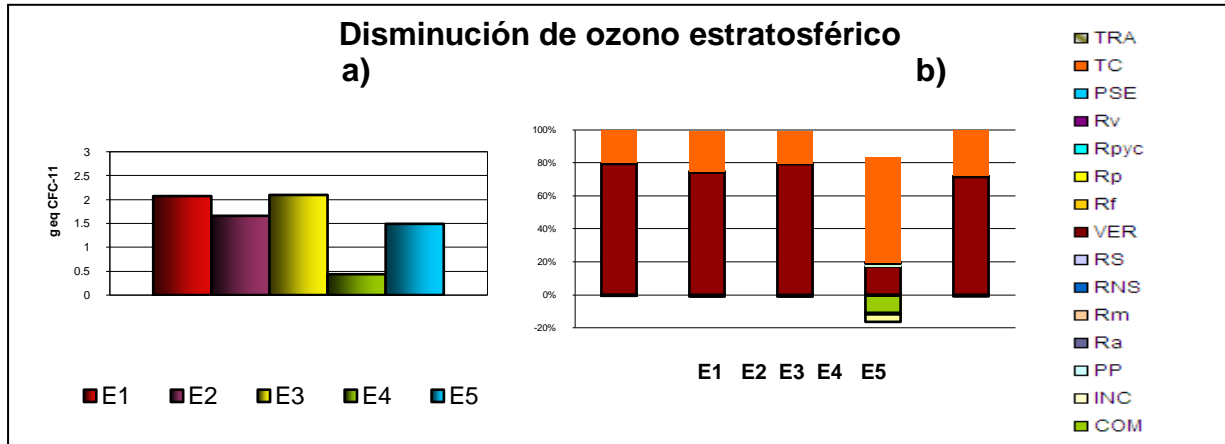


Figura 2. Contribuciones a la categoría de disminución del ozono estratosférico, a) valores totales por escenarios y b) porcentaje de aportación por procesos para cada escenario.

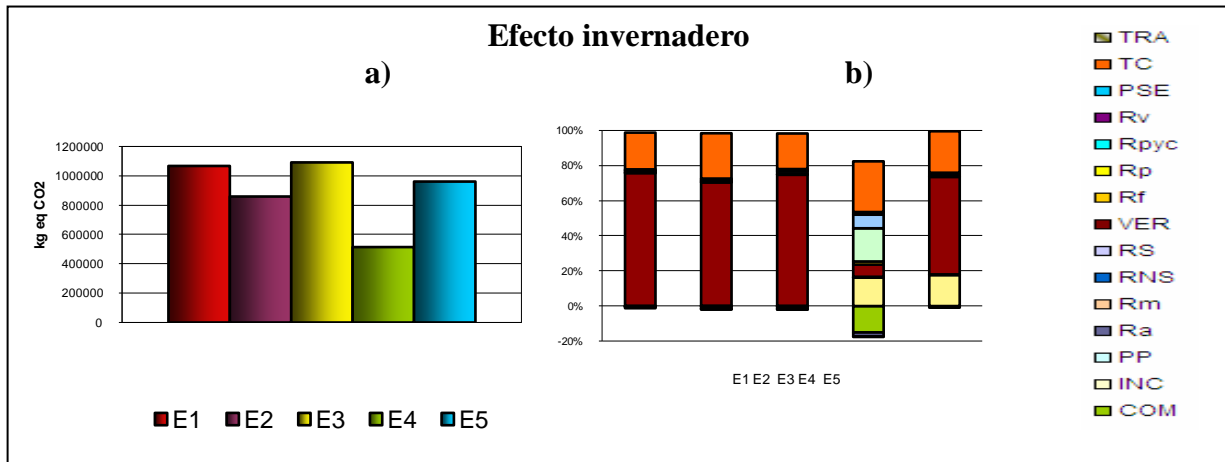


Figura 3. Contribuciones a la categoría de cambio climático, a) valores totales por escenarios y b) porcentaje de aportación por procesos para cada escenario.

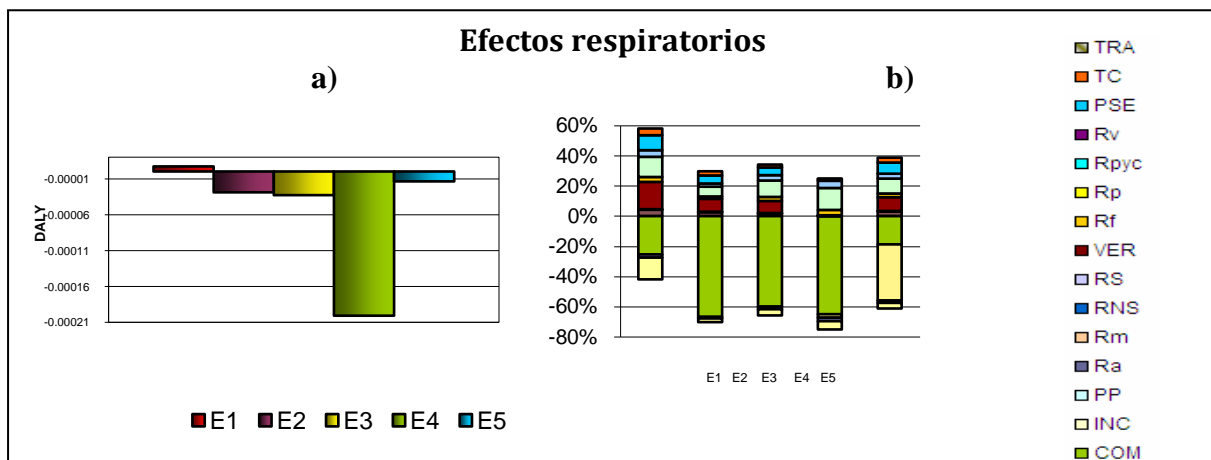


Figura 4. Contribuciones a la categoría de efectos respiratorios, a) valores totales por escenarios y b) porcentaje de aportación por procesos para cada escenario.

## **Discusión**

**1 Recogida de residuos.** Los procesos de recolección de residuos tanto de forma selectiva como no selectiva, no contribuyen de forma significativa en ninguna de las cuatro categorías de impacto analizadas, esto se debe a que sus impactos no son relevantes al compararlo con el resto de procesos que incluyen uso de combustibles y energía eléctrica.

**2 Plantas de selección.** La planta de selección de residuos contribuye de manera poco significativa en todas las categorías de impacto analizadas debido a dos aspectos: 1) al uso de combustible para el funcionamiento de la pala mecánica que se encarga de mover los residuos que entran a las plantas de selección y 2) al consumo de energía eléctrica por las bandas transportadoras para la recuperación y clasificación de residuos.

**3 Proceso de fabricación de compost.** La fabricación de compost en todos los escenarios analizados, mitiga los impactos de forma significativa en las categorías de acidificación y efectos respiratorios. En las categorías de disminución del ozono estratosférico, y efecto invernadero sólo el escenario E4 evita los impactos, esto se debe a que en éste sistema la proporción de compost es relativamente mayor.

**4 Proceso de reciclaje.** Los reciclajes de aluminio y papel y cartón, son los que representan una mitigación de impacto más significativa debido a éstos procesos representan importantes ahorros de energía y materiales en comparación con la producción a partir de materiales vírgenes.

**5 Vertedero.** Los procesos de vertedero controlado y los tiraderos clandestinos contribuyen al impacto en todas las categorías analizadas debido principalmente a las emisiones de biogás y lixiviados, aunque el vertedero controlado genera proporcionalmente menor impacto ya que cuenta con tecnología para la recuperación y tratamiento de biogás y lixiviados generados.

**6 Incineración.** El proceso de incineración con recuperación de energía mitiga los impactos de forma significativa en acidificación, formación de foto-oxidantes, efectos carcinogénicos y efectos respiratorios; lo cual se debe a que la electricidad generada en este proceso ayuda a mitigar dichos impactos.

## **Conclusiones**

La problemática de los residuos sólidos urbanos en México es un tema que debe preocuparnos a todos y hacernos reflexionar con el fin de encontrar soluciones sustentables. Éstas deben realizarse pensando no solo en “mañana” (10 o 20 años) sino en “el mañana” (muchas decenas de años).

Así cuando se plantee la ubicación, construcción y operación de un vertedero de residuos sólidos o de cualquier otra instalación o sistemas complejos (como la gestión de residuos), no debe olvidarse considerar a corto, mediano y largo plazo el impacto al ambiente. El ACV es una herramienta con gran potencial para fundamentar esta toma de decisiones, desde una base científica.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la comparación de los escenarios sugieren que el proceso del vertedero contribuye en todas las categorías de impacto analizadas, debido a las emisiones de biogás y a los lixiviados generados; sin embargo este proceso no puede ser eliminado por completo, por lo que se recomienda la minimización de los residuos que llegan al relleno a través de los tratamientos de composta e incineración principalmente.

El escenario E4 es el que presenta menos impactos dentro de las categorías analizadas, el cual se refiere al cumplimiento de las metas de recogida selectiva y no selectiva, así como los porcentajes de fabricación de composta e incineración del Plan Federal de Gestión de Residuos de Austria. El escenario E5 es otro de los escenarios que tuvo menos impactos en la comparación, ya que se puede apreciar que el sistema actual con incineración es recomendable, y por lo tanto este proceso de incineración requiere ser revisado para ser implementado en la gestión de residuos sólidos de la Ciudad de México, ya que actualmente, las incineradoras en el país aún son consideradas como “peligrosas y dañinas” tanto para el ambiente como para la salud de la población.

Es necesario puntualizar que para la realización del inventario de ciclo de vida (ICV), se requiere de la búsqueda constante de información, ésta no siempre es accesible y en esos casos se realizaron estimaciones tomando como base información de gestión de residuos que pudieran no formar parte del sistema estudiado, por lo que se sugiere la obtención de datos de referencia para la valoración en la Ciudad de México o para cualquier otro sistema de gestión en algún otro estado del interior de la república, es decir, se requiere ampliar el inventario de emisiones del país, de tal forma que se genere una base de datos fiable que refleje las emisiones de todas las actividades de la sociedad a partir de la cual se pueda obtener las referencias para realizar futuros trabajos de investigación en normalización y valoración de los impactos necesarios en la toma de decisiones de sistemas de productos y de procesos.

Sin embargo, las decisiones que se tomen en relación con la gestión de residuos deben considerar aspectos tanto sociales y económicos como técnicos y científicos para que tengan alcances sostenibles, ya que la planificación y gestión que hoy se realice afectará también a las generaciones futuras.

En el aspecto social, sino se logra sensibilizar y educar a la población sobre las ventajas y desventajas que tiene el hecho de no disponer adecuadamente los residuos, cualquier sistema técnicamente adecuado esta destinado al fracaso.

Educación ambiental hacia la población, en lo que de lo que respecta a la reducción de generación de residuos, la separación de los mismos, el reciclaje, y de lo que significa un sistema de gestión integral de los residuos sólidos municipales, conservación de recursos naturales, problemática ambiental, impacto ambiental de la generación , entre otros temas.. El proceso debe iniciar desde las primeras fases de la educación y hasta a las personas adultas, para todos los sectores económicos de la sociedad.

El equilibrio en la sustentabilidad, *ambientalmente* involucra la producción de mas productos útiles con menos emisiones y menos residuos remanentes que deban enviarse a la disposición final, con un consumo menor de energía y recursos durante estos procesos. *Económicamente*, se logra manteniendo la cantidad de recursos económicos óptimos para operar el sistema en un nivel que sea aceptable para todas las partes involucradas. *Socialmente*, la aceptación y participación de la sociedad en el sistema de gestión.

## REFERENCIAS

- BARLAZ, M. A., Ranjithan, R. and Weitz K. A., (1995). Life cycle study of municipal solid waste management –System description. EPA Cooperative Agreement 832052. USA.
- BARTON, J. R., Dalley, D. and Patel, V. S., (1996). Life cycle assessment for waste management. *Waste Management*, Vol. 16, Nos 1-3. pp. 35-50.
- BJORKLUND, A., Dalemo, M. and Sonesson, U., 1999. Evaluating a municipal waste management plan using ORWARE. *Journal of Cleaner Production*. 7: 271-280.
- DGSU. (2007). Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal 2007. Dirección de Servicios Urbanos del Distrito Federal.
- DOMÉNECH, X., y Rieradevall, J., (2000). Balance ambiental de un depósito controlado de RSM. En: Agencia Metropolitana de Residuos. Segunda jornada técnica sobre la gestión de residuos municipales –Els dipòsits controlats. España.
- FINNVEDEN G., (1999). Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. *Resources, Conservation and Recycling* 26:173-187.
- \_\_\_\_\_, Albertsson, A., Berendson, J., Eriksson, J., Höglund, L. O., Karlsson, S. and Sundqvist, J.O., (1995). Solid waste treatment within the framework of life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 3, No. 4, pp. 189-199.
- GDF. (2007). El problema de la basura en el Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal. Obtenido el 18 de Noviembre del 2007, desde <http://www.df.gob.mx/ciudad/residuos/residuos01>
- GÜERECA, L. (2006). Desarrollo de una metodología para la valoración en Análisis de ciclo de vida aplicada a la Gestión integral de Residuos Municipales, tesis doctoral.
- \_\_\_\_\_, Gassó S., Baldasano J.M., Jiménez-Guerrero P. (2006). Life cycle assessment of two biowaste management systems for Barcelona, Spain. *Resources, Conservation and Recycling* 49: 32-48.
- INEGI. (2005). Resultados definitivos del II Censo de Población y Vivienda 2005, para el Distrito Federal. Comunicado núm. 119/06.
- MCDUGALL F., White P., Franke M., Hindle P., (2004). Gestión Integral de Residuos Sólidos, inventario de ciclo de vida, primera edición traducida. Procter & Gamble, Caracas. 624 pp.
- MENDES, M.R., Aramaki, T. and Hanaki, K., (2003). Assessment of the environmental impact of management measures for biodegradable fraction of municipal soil waste in Sao Paulo City. *Waste Management*. 23: 403-409.
- PGIRS-DF. (2004). Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal 2004-2008, Secretaria del Medio Ambiente.
- SMA, (2006). Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal 2006. Secretaria del Medio ambiente del Distrito Federal.
- SONESSON, U., Bjorklund, A., Carlsson, M. and Dalemo, M., 2000. Environmental and economic analysis of management system for biodegradable waste. *Resources, Conservation and Recycling*. 28: 29-53.
- TURKULAINEN, T. and Katajajuuri, J. 2000. Applying LCA to integrated resource and waste management –Substitution of primary energy resources. IEE Reports. VTT Chemical Technology, Espoo.
- WHITE, P.R., Franke, M. and Hindle, P., (1995). *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. Blackie Academic & Professional, Glasgow.