

## **Enfoque del ciclo de vida para la evaluación ambiental de las estrategias de manejo de los residuos sólidos domésticos en La Habana, Cuba**

Odalys C. Goicochea Cardoso <sup>(1)</sup> y Mirta Fabregat Jorge <sup>(2)</sup>

(1) *Delegación CITMA de La Habana, Avenida 17 No. 5008 e/ 50 y 52, Playa, La Habana, Cuba. E-mail: [goicochea@delegcha.cu](mailto:goicochea@delegcha.cu)*

(2) *Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría, Avenida 114 No. 11 901 e/ 119 y 127, municipio Marianao, La Habana. Cuba.*

Recibido: enero 23, 2014	Aceptado: agosto 12, 2014
--------------------------	---------------------------

### **Resumen**

En las ciudades de América Latina y el Caribe se ha incrementado el volumen de residuos sólidos urbanos (RSU). La principal fracción de los RSU lo constituyen los residuos sólidos domésticos (RSD), los que generan impactos ambientales sobre los recursos naturales. La implantación de la gestión ambiental contribuye a, determinar los impactos en la estrategia de manejo de los RSD seleccionada y su repercusión sobre los aspectos socioeconómicos del territorio. En este trabajo se aplica una guía metodológica de evaluación ambiental, sustentada en el enfoque de ciclo de vida, de dos estrategias de manejo de los RSD implantadas en el municipio Plaza de la Revolución de La Habana. El escenario de manejo del año 2010 reporta un comportamiento ambiental mejor que en el año 2008, la disposición final de los RSD causa los mayores impactos negativos y la categoría de impacto de mayor incidencia es el Calentamiento Global.

**Palabras clave:** ciclo de vida, evaluación ambiental, impacto ambiental y residuos sólidos domésticos

### **Life cycle approach to the environmental assessment of the management strategies of domestic solid wastes in Havana City, Cuba**

#### **Abstract**

The cities of Latin America and the Caribbean have increased the volume of municipal solid waste (MSW). The main fraction of MSW is domestic solid waste (DSW), which generate environmental impacts on natural resources. Environmental management implementation contributes to determine the impacts on the management strategy selected DSW and its impact on socio-economic aspects of the territory. This paper presents is applied a methodological guide environmental assessment, based on the life cycle approach, two management strategies implemented in the municipality RSD Revolution Square in Havana. The management scenario of 2010 reports a better environmental performance in 2008; the disposal of RSD cause major negative impacts and impact category is the higher incidence of Global Warming.

**Key words:** life cycle, environmental assessment, environmental impact and domestic solid waste

#### **1. Introducción**

Desde la década de los ochenta en América Latina y el Caribe se aprecia que los procesos de urbanización y crecimiento se han acelerado de forma significativa. En tanto, existe este crecimiento también aumenta la demanda de recursos naturales, el volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) que deben ser transportados, tratados y

dispuestos finalmente. Esta situación ha traído como consecuencia que el medio de las áreas urbanizadas sea incapaz de tratar los impactos ambientales generados y absorberlos, de manera natural. Por ende, se ha generado un deterioro paulatino de los recursos naturales como el agua, el aire y el suelo, en algunos casos irreversible. Además, se afecta el estado del medio ambiente de los lugares donde se extraen las materias primas vírgenes para la producción de los bienes de consumo que una vez utilizados se convierten en residuos.

Se adiciona a lo anterior, los daños económicos y sociales a consecuencia de la producción y disposición indiscriminada de los RSU en las ciudades cuestión que ha llegado a alcanzar tal magnitud, que hoy en día son considerados como problemas de primer orden que requieren atención y medidas inmediatas para su evaluación, control y establecimiento de soluciones a corto, mediano y largo plazo.

Los RSU por su origen se clasifican en diferentes tipos: domésticos, industriales, agrícolas, comerciales, hospitalarios e industriales peligrosos, hospitalarios no peligrosos y de la construcción. Entre ellos, la fracción de los residuos sólidos domésticos (RSD) representa más del 50% (Tchobanoglous *et al.*, 1998; CEMPRE, 1998; Aristizabal y Sáchica, 2001; Mc Dougall *et al.*, 2001; López *et al.*, 2004).

La gestión de los RSD en las ciudades, desde sus inicios, se concentró en aspectos técnicos vinculados con la seguridad y la salud pública. En el proceso de manejo eran ignorados los efectos negativos sobre los receptores del medio ambiente y el papel de todos los actores involucrados. La principal fuente de preocupación por parte de las autoridades lo constituían los costos económicos. En consecuencia, (Gerlagh *et al.*, 1999) ha considerado que operar integralmente o realizar un manejo sostenible de los RSD solo ha sido posible en los países desarrollados.

A juicio de la autora, el abordaje de la problemática de los RSD en las ciudades, demanda del desarrollo e implantación de la gestión ambiental dentro de la gestión urbana y/o territorial. Esta gestión posibilitara conocer los impactos ambientales de la alternativa de manejo de los RSD, la repercusión de estos impactos sobre los aspectos económicos y sociales del territorio estudiado, así como las posibles acciones de mejora continua.

La gestión ambiental en Cuba ha quedado definida según la Ley No. 81 del 11 de julio de 1997 como: un conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana (CITMA, 2001).

Esta gestión, para el caso específico de La Habana, capital del país, en el manejo de los RSD exhibe un escenario complejo en lo ambiental, al que se le adicionan los problemas acumulados por la crisis económica de los noventa y las dificultades para definir el emplazamiento de nuevos sitios de disposición final con el propósito de reemplazar a los actuales, a medida que concluyen su vida útil (Goicochea, 2005). Además, La Habana tiene un índice de urbanización del 100% y alberga una quinta parte de la población cubana en solo 726,75 km<sup>2</sup> (ONEI, 2012).

Esto ha creado dificultades para la adopción de decisiones y exigencias ambientales estratégicas en un mediano y largo plazo para el manejo de los RSU. Su volumen se ha elevado a 2300 toneladas diarias, de los cuales el 70% es de origen doméstico (Goicochea y Fabregat, 2011) lo que representa un índice de generación de 0.7 kg/habitante/día, el cual podría ser mayor en varios municipios de la capital. Otro elemento a considerar, es la transformación progresiva de los patrones de consumo, siendo cada vez más altas las cantidades de plástico, aluminio, papel y cartón que son desechadas y llevadas a los sitios de disposición final con un bajo aprovechamiento económico lo que conlleva a la reducción del tiempo de vida útil de los vertederos. (Goicochea, 2005; JICA *et al.*, 2007).

Con el propósito de contribuir a la solución de la problemática dada, se presenta la aplicación de una guía metodológica de evaluación ambiental para las estrategias de manejo de los RSD implantadas en un municipio de La Habana.

## 2. Materiales y métodos

Los estudios basados en la evaluación del ciclo de vida posibilitan un análisis integral de la situación y por consiguiente, una propuesta de mejores prácticas de manejo de los productos, procesos y actividades desde su “cuna hasta la tumba” y la determinación de los principales indicadores de impacto. Estos estudios se han abierto paso, día a día, por su carácter integrador y las amplias posibilidades que brindan para el manejo de los recursos. Se vislumbra como el instrumento por excelencia de la gestión ambiental del siglo XXI (Barton y Patel, 1999; Romero, 2003; Caldeira-Pires *et al.*, 2005; Llanes *et al.*, 2005; Sonneman y de Leeuw, 2006).

La guía metodológica de evaluación ambiental se concibe sobre la base del enfoque del análisis del ciclo de vida (ACV) para ello se consideran todas las etapas del mismo: 1) Definición de objetivos y alcance, 2) Análisis de inventario, 3) Evaluación de impactos ambientales y 4) Interpretación de los resultados, todas en estrecha

interacción. El análisis de inventario se realiza con el empleo del *software* Integrated Waste Management IWM-2 (Mc Dougall y col., 2001). Para la representación gráfica del perfil ambiental en la etapa de evaluación de impactos se utiliza del *software* EVALICV (Cabrera *et al.*, 2012) con el cual se refleja la incidencia de las emisiones en los elementos funcionales correspondientes a las estrategias de manejo de los RSD en estudio y de la contribución total de cada una de las categorías de impacto en dichas estrategias. Además, se empleó como técnica grupal, el Grupo Nominal donde es posible alcanzar un consenso rápido entre todos los participantes (ONU-HABITAT, 2002) para su desarrollo se convocaron un total de nueve (9) especialistas, con experiencia en gestión ambiental urbana y que están vinculados con el proceso de elaboración de la estrategia ambiental en La Habana.

El municipio donde se aplica la guía metodológica es Plaza de La Revolución, uno de los quince municipios de la provincia de La Habana y el quinto municipio más pequeño de Cuba con 11.82 km<sup>2</sup>, que representa solo el 16% de toda la superficie de La Habana. Además, su densidad poblacional es de 12 081 habitante/km<sup>2</sup>, una de las más elevadas en la capital después de Centro Habana, La Habana Vieja, 10 de Octubre y Cerro (ONEI, 2012). Sus vínculos con el resto de la ciudad de La Habana unido a que se distingue por contar con la más importante red hospitalaria del país, por la localización de un alto número de sedes de los organismos de la administración central del estado, así como de relevantes centros de la cultura, la educación, el comercio y la recreación, hace que tenga un alto atractivo para residir en él. Otro aspecto que posee el municipio Plaza de La Revolución radica en que cuenta con la caracterización de los RSD realizada en el año 2007 (JICA *et al.*, 2007).

### 3. Resultados y discusión

La guía metodológica de evaluación ambiental está basada en las etapas del ACV como ya se ha explicado. Considera, en esencia, el manejo de los RSD como un proceso donde la energía, las materias primas y los residuos, constituyen el material de entrada y los materiales aprovechables, la energía recuperada y las emisiones al agua y al aire son las salidas.

#### ETAPA I: Definición de objetivos y alcance

Esta etapa tiene como propósito definir el objetivo específico del estudio y el área de la ciudad de La Habana donde se aplicará el modelo.

**Paso 1.1:** Definición del objetivo específico que se pretende con el estudio y que contribuirá al logro del objetivo del modelo a implantar.

**Paso 1.2:** Descripción general del área en la que se aplicara el modelo.

**Paso 1.3:** Definición de los límites geográficos (consejo popular, municipio o provincia) y temporales del sistema (año, mes, día). En cada caso se explicarán las razones tenidas en cuenta para su selección.

**Paso 1.4:** Se define la unidad funcional que se utilizará como referencia de todas las entradas y salidas del sistema. Debe señalarse que en un ACV de productos la unidad funcional (UF) está referida al producto final, mientras que en el ACV de gestión de residuos (ACV de procesos) la UF se refiere al elemento de entrada residuos (Sojo, 2001).

- Cantidad: expresada en toneladas de RSD generadas en un año por habitantes
- Temporalidad: se define el período específico en que se realiza el análisis
- Estacionalidad: delimitar el periodo lluvioso y el seco
- Composición física: se debe reflejar el porcentaje en peso de siete (7) componentes del total de los RSD, 1) papel y cartón, 2) metales, 3) plásticos, 4) vidrio, 5) textiles, 6) materia orgánica y 7) otros.

Para la segregación de los diferentes componentes se utiliza el método de cuarteo para lo cual se toma una cantidad aproximada de 100 Kg del total de viviendas muestreadas por municipio. Estos residuos se depositan sobre una plataforma metálica o material impermeable tales como sacos de polietileno, polivinilo, encerados, entre otros. El material separado se mezclará uniformemente a pala y se dividirán en cuatro partes. Este procedimiento deberá realizarse en el transcurso de siete (7) días en las épocas de lluvia y de seca.

#### ETAPA II: Análisis de Inventario

La segunda fase de la guía metodológica de evaluación ambiental persigue como objetivo, declarar todas las entradas y salidas a lo largo del ciclo de vida de la estrategia de manejo que se encuentra en estudio.

**Paso 2.1:** Se deben tener en cuenta los elementos funcionales que se encuentren en funcionamiento en el periodo de tiempo que se analiza, desde la generación, el procesamiento en origen, la recogida y transporte, la transformación y la disposición final. Este paso requiere de la representación esquemática de la estrategia de manejo de los RSD.

**Paso 2.2:** Con el empleo del *software* IWM-2 (Mc Dougall *et al.*, 2001) se realiza el análisis de inventario para determinar las emisiones al aire y al agua que provoca la estrategia de manejo en estudio.

Se obtienen como resultados los compuestos químicos (emisiones) que se generan en los elementos funcionales del manejo de los RSD en las estrategias analizadas.

#### **ETAPA III:** Evaluación de impactos

El objetivo de esta tercera etapa se centra en, determinar los impactos ambientales de las estrategias de manejo de los RSD.

**Paso 3.1:** Se realiza la clasificación, para lo cual se agrupan los resultados del análisis de inventario, por elemento funcional, de acuerdo a las categorías de impacto referidas por Sojo (2001). Las categorías de impacto empleadas se han tomado de Sojo (2001): Potencial de Toxicidad Humana (PTH), Potencial de Ecotoxicidad (PEc), Potencial de Eutrofización (PEu), Potencial de Formación de Oxidantes Fotoquímicos (PFOF), Potencial de Calentamiento Global (PCG), Potencial de Acidificación (PA) y Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono (PDCO). Se tienen en cuenta los impactos positivos en el análisis de ciclo de vida, a través de las cargas evitadas

Se desarrolla la caracterización que consiste en sumar en un único indicador los elementos que contribuyen a cada categoría de impacto en cuestión. En función de ello se consultan las bases de datos especializadas del programa Simapro versión 4.0 dada por Sojo (2001), que contienen las emisiones que generan cada material o fuente energética utilizada en el sistema a lo largo de su vida útil.

**Paso 3.2:** Representación gráfica de la incidencia de las emisiones en los elementos funcionales correspondientes a las estrategias de manejo de los RSD en estudio. La construcción de gráficos a través del programa Excel permite visualizar el comportamiento de los elementos funcionales por cada una de las categorías de impacto.

**Paso 3.3:** Se determina la contribución total de cada una de las categorías de impacto en las estrategias de manejo de los RSD (perfil ambiental). Para ello se deben construir gráficos en Excel que contenga las estrategias de manejo seleccionadas y el valor alcanzado por las categorías de impacto.

#### **ETAPA IV:** Interpretación de resultados

Esta fase tiene como objetivo, interpretar los resultados obtenidos con el apoyo de análisis estadísticos y trabajo grupal para la propuesta de acciones correctivas a la estrategia de manejo en estudio, de acuerdo a su comportamiento ambiental.

**Paso 4.1:** Se realiza una valoración del comportamiento de los compuestos químicos del inventario del ciclo de vida por cada estrategia de manejo en los periodos de seca y lluvia, en los años seleccionados.

**Paso 4.2:** Se realiza una valoración de los perfiles ambientales por cada categoría de impacto, municipios y épocas del año.

**Paso 4.3:** Se describe el comportamiento de las variables analizadas teniendo en cuenta la localidad seleccionada, el índice de generación de RSD, la época del año (seca o lluviosa), el año y los indicadores del entorno económico y social que inciden en el manejo de los RSD (número total de habitantes, densidad poblacional, producción mercantil, tasa media de crecimiento y volumen de inversiones).

Se empleó la técnica multivariada de Análisis de Componentes Principales (ACP) del programa Excel XLSTAT 7.5.2 y el método biplot. El objetivo principal que persigue el ACP es representar las medidas numéricas de diferentes variables en un espacio de pocas dimensiones donde se perciban las relaciones que de otra manera permanecerían ocultas. Esta técnica permite reducir la dimensionalidad de los datos, transformando el conjunto de  $p$  variables originales en otro conjunto de  $q$  variables relacionadas, llamadas componentes principales. Las  $p$  variables son medidas sobre  $n$  individuos (León *et al.*, 2008).

En este caso las variables son todas las categorías de impacto empleadas en este estudio además de, los indicadores del ámbito socioeconómico y ambiental. Los individuos corresponden a los municipios en estudio, en las épocas de seca y lluvia en un periodo de tiempo determinado.

**Paso 4.4:** Se lleva a cabo una valoración económica de las estrategias de manejo en estudio.

Los costos de la recogida y disposición final, se calculan a través de los valores medios reportados por el Banco Mundial (2000) citado por JICA *et al.* (2007) para los países subdesarrollados.

Los ingresos por el reciclaje de materiales aprovechables se determinan con los valores aportados por la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas para los períodos analizados.

Para las acciones de compostaje se considera que la proporción máxima de las ventas es del 60%, el resto se define que se transporta hacia el vertedero. El precio unitario es de 500 pesos por tonelada.

**Paso 4.5:** Análisis de requerimientos básicos para la mejora continua de las estrategias de manejo analizadas

En este paso es necesario aplicar una técnica de trabajo grupal, con el propósito de analizar la problemática que se presenta a partir de los resultados obtenidos en los pasos previos, generar alternativas y seleccionar cursos de acción para la mejora continua de las estrategias de manejo de los RSD. La técnica que se recomienda es la del Grupo Nominal donde es posible alcanzar un consenso rápido entre todos los participantes (ONU-HABITAT, 2002).

Se convocan a este trabajo, especialistas de gestión ambiental, con preferencia aquellos con experiencia en el manejo de residuos o que hayan participado en la elaboración de estrategias ambientales, sin embargo, esto no constituye una limitante para otros vinculados a otras áreas de trabajo. La pregunta que debe responderse es: ¿cuáles son los instrumentos de la gestión ambiental cubana que pueden contribuir de manera positiva a la mejora continua del manejo de los RSD en La Habana de acuerdo a los resultados de la evaluación ambiental realizada y en correspondencia con el entorno socioeconómico.

Los resultados obtenidos en el taller permiten determinar, por cada instrumento de la gestión ambiental y de acuerdo, a los principales impactos, los requerimientos básicos para la mejora continua de las estrategias de manejo implantadas.

### **Aplicación de la guía metodológica en el municipio de Plaza de La Revolución**

- Objetivo específico del estudio. Evaluar el impacto ambiental de las alternativas de manejo de los RSD implantadas en el municipio Plaza de La Revolución en La Habana, en los años 2008 y 2010.
- Descripción general del municipio. Tiene una extensión de 12.26 km<sup>2</sup> y residen 152 318 habitantes, distribuidos en siete (7) consejos populares (ONEI, 2012). Es el Municipio donde se hospeda la mayor parte del turismo que visita a la capital de Cuba con hoteles de 4 y 5 estrellas. En este municipio se ubican importantes instalaciones científicas, de salud, de educación y radica la mayor parte de las sedes ministeriales.
- Límites geográficos del municipio. Se ubica al norte de la provincia de La Habana. Al oeste limita con el municipio de Playa, al este con el municipio Centro Habana, al sur con los municipios Cerro y Centro Habana, y al norte con el Malecón habanero.
- Unidad funcional. Como referencia de la unidad funcional se tuvo en cuenta la cantidad de RSD generados en el año 2008 y en el año 2010 en el municipio de Plaza de La Revolución.

- Cantidad de RSD:

Año 2008: 39 748.5 toneladas/año

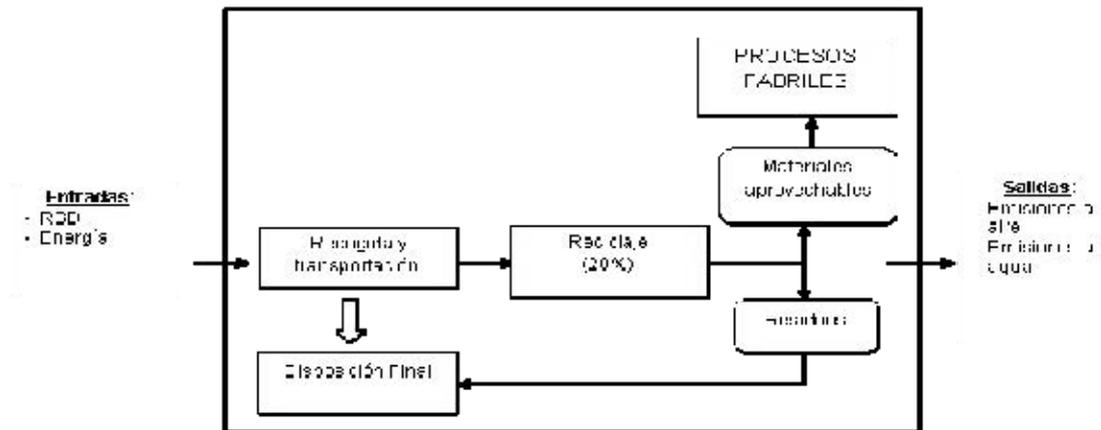
Año 2010: 38 917.2 toneladas/año

La reducción de los residuos generados se corresponde con la del número de habitantes, cifra que es empleada para realizar este cálculo. En el año 2008 el número de habitantes ascendía a 155 516 y en el año 2010 a 152 318 según los datos de la ONEI (2012).

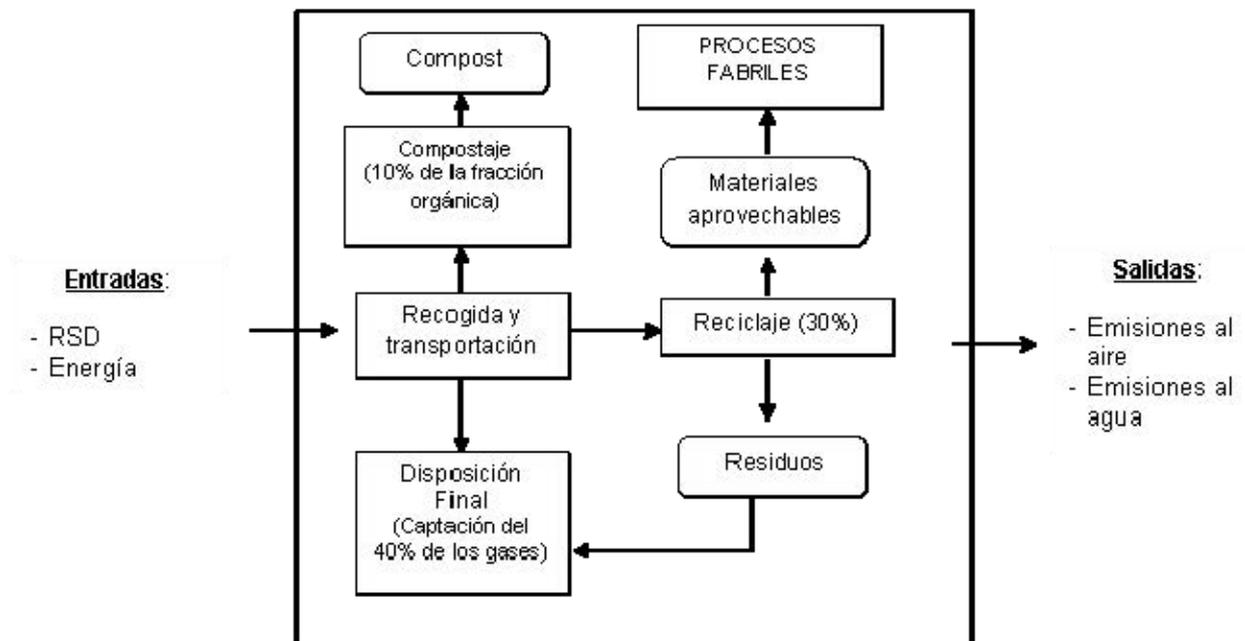
- Temporalidad. Se analizan dos estrategias de manejo de los RSD que fueron implantadas en el municipio de referencia durante los años del ciclo de la Estrategia Ambiental Provincial 2007 – 2010.

**Escenario No. 1:** ubicado en el año 2008 donde el manejo de los RSD en el municipio de Plaza de La Revolución se concentra en la recogida de los RSU y su transporte a sitios de disposición final en que son enterrados. Se tiene en cuenta un 20 por ciento de recuperación de materiales aprovechables. (Figura 1)

**Escenario No. 2:** ubicado en el año 2010 donde se han puesto en práctica diferentes medidas tendientes al mejoramiento del manejo como el compostaje en un 10 por ciento de la materia orgánica que se genera, la desgasificación del vertedero donde se destinan finalmente los residuos del municipio. Los valores dados fueron establecidos para toda la ciudad de La Habana ese año por la Dirección Provincial de Servicios Comunes así como el aumento en la recuperación de materiales en un 30 por ciento. (Figura 2)



**Fig. 1.** Esquema de los procesos incluidos en el escenario 1 (año 2008) para el manejo de los RSD en el municipio Plaza de La Revolución  
**FUENTE:** Elaboración propia



**Fig. 2.** Esquema de los procesos incluidos en el escenario 2 (año 2010) para el manejo de los RSD en el municipio Plaza de La Revolución  
**FUENTE:** Elaboración propia

- Estacionalidad. Se han considerado las épocas de lluvia y seca en los años analizados.
- Composición física. Se tiene en cuenta la misma composición física de los RSD en ambos años analizados (JICA *et al.*, 2007).

**Tabla I. Composición física de los RSD en el municipio Plaza de la Revolución (período seca)**

Componentes	Papel y cartón	Plásticos	Vidrio	Aluminio	Metales en general	Textiles	Madera residuos de jardín y patios	Residuos de Cocina	Goma	Piel	Otros	Total
<b>% en Peso</b>	1.6	6.05	10.25	0.7	0	0	22.05	59.30	0	0	0	100

**Tabla II. Composición física de los RSD en el municipio Plaza de la Revolución (período lluvioso)**

Componentes	Papel y cartón	Plásticos	Vidrio	Aluminio	Metales en general	Textiles	Madera residuos de jardín y patios	Residuos de Cocina	Goma	Piel	Otros	Total
<b>% en Peso</b>	6.8	4.2	8.6	0.35	1	0.35	0	78.6	0	0	0	100

**Tabla III. Volúmenes de RSD en los elementos funcionales del manejo de los RSD**

Elemento funcional	Escenario No.1 (2008)		Escenario No. 2 (2010)	
	Total de RSD (ton/año)		Total de RSD (ton/año)	
<b>Generación</b>	39 748.5		38 917.2	
<b>Recogida y Transportación</b>	39 748.5		38 917.2	
<b>Reciclaje</b>	<b>Período de Seca (20%)</b>	<b>Período de Lluvia (20%)</b>	<b>Período de Seca (30%)</b>	<b>Período de Lluvia (30%)</b>
- Papel y cartón	127.2	540.6	186.8	793.92
- Plásticos	481	333.88	706.35	490.36
- Vidrio	814.8	683.67	1196.7	1004.07
- Aluminio	55.64	27.82	81.73	40.86
- Metales en general	0	79.5	0	116.8
- Textiles	0	27.82	0	40.86
<b>Subtotal</b>	<b>1478.6</b>	<b>1693.29</b>	<b>2171.58</b>	<b>2486.87</b>
<b>Compostaje (10% de materia orgánica)</b>	-	-	2307.8	4711.09
<b>Disposición Final</b>	38 269.9	38 055.21	34 437.82	31 719.24

**ETAPA II:** Análisis de Inventario

Se realiza mediante el software IWM-2 (Mc Dougall *et al.*, 2001) y se obtienen las emisiones tanto al agua como al aire. En este sentido, los resultados muestran que en el recurso agua, el hierro (Fe), el amonio (NH<sub>4</sub>) y los hidrocarburos clorados en el elemento funcional de disposición final, así como los nitratos (NO<sub>3</sub>) en el reciclaje reportan las mayores concentraciones al recurso agua. Mientras que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los cianuros (CN) en el elemento funcional de reciclaje alcanzan las mayores cargas evitadas 1 en los escenarios estudiados tanto en la época de lluvia como seca.

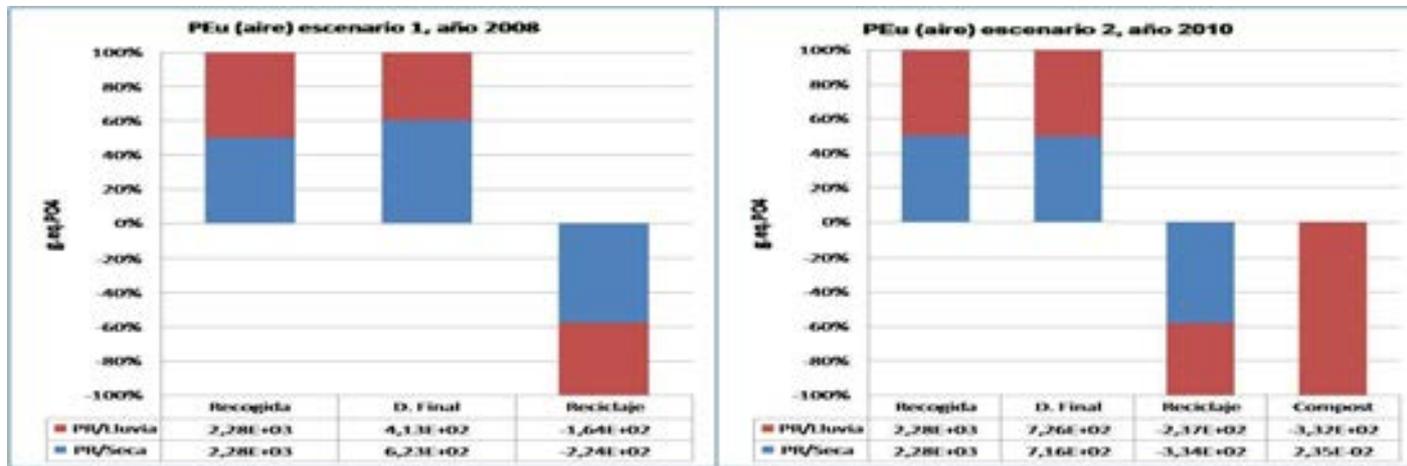
En tanto, el recurso aire se ve afectado por las altas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos totales en este orden. El elemento funcional del manejo de los RSD que más influye es la disposición final debido a que en los vertederos el propio proceso de descomposición de los residuos contribuye a emitir los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) unido a la operación y mantenimiento de estos sitios con equipos pesados se originan emisiones de hidrocarburos. Mientras que el reciclaje dentro de los escenarios analizados reporta cargas evitadas (las cargas que se dejan de emitir debido a la utilización de materiales aprovechables como materias primas) de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), arsénico (As) y de monóxido de carbono (CO) fundamentalmente en época de lluvia.

**ETAPA III:** Evaluación de impactos

Los resultados alcanzados en la fase anterior se clasifican de acuerdo a las categorías de impactos seleccionadas. Para ello se agrupan los elementos de caracterización que aportan a las categorías de impacto en análisis de acuerdo a SIMAPRO 4.0 en Sojo (2001).

Con la agrupación hecha en el paso precedente, se convierten todas las medidas al factor de referencia de cada categoría de impacto, para así obtener el impacto ambiental asociado a cada una de estas. Este paso es propiamente la caracterización y también es llamado “perfil ambiental”.

Los gráficos (del 1 al 6) se muestran a continuación el comportamiento de las categorías de impacto en cada escenario, en las épocas lluviosa o seca, así como por cada elemento funcional del manejo de los RSD en el municipio de Plaza de la Revolución.



**Fig.3.** Grafico con las contribuciones a la categoría de impacto de eutrofización al aire en ambos escenarios.

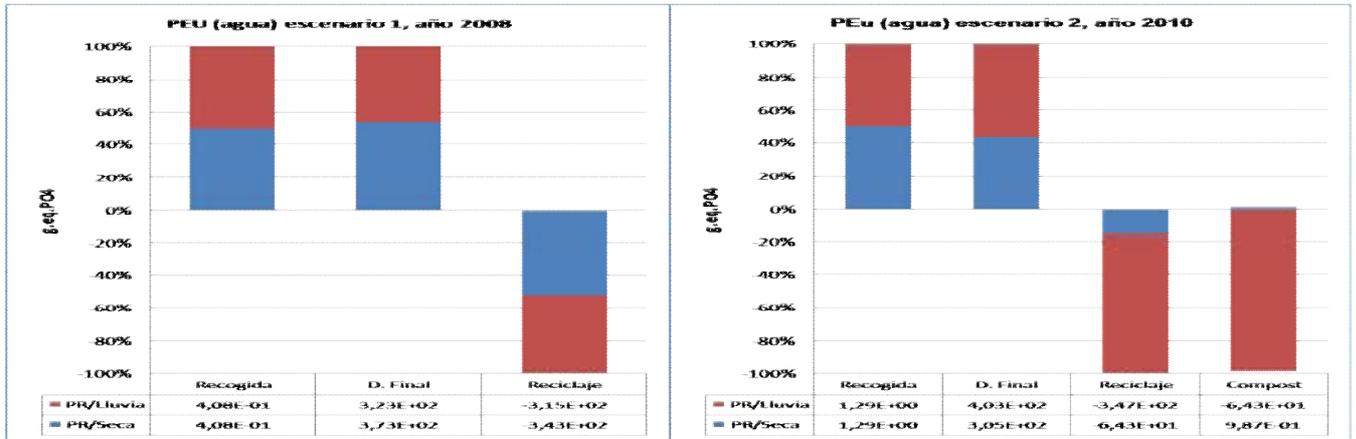


Fig.4. Grafico con las contribuciones a la categoría de impacto de eutrofización al agua en ambos escenarios.

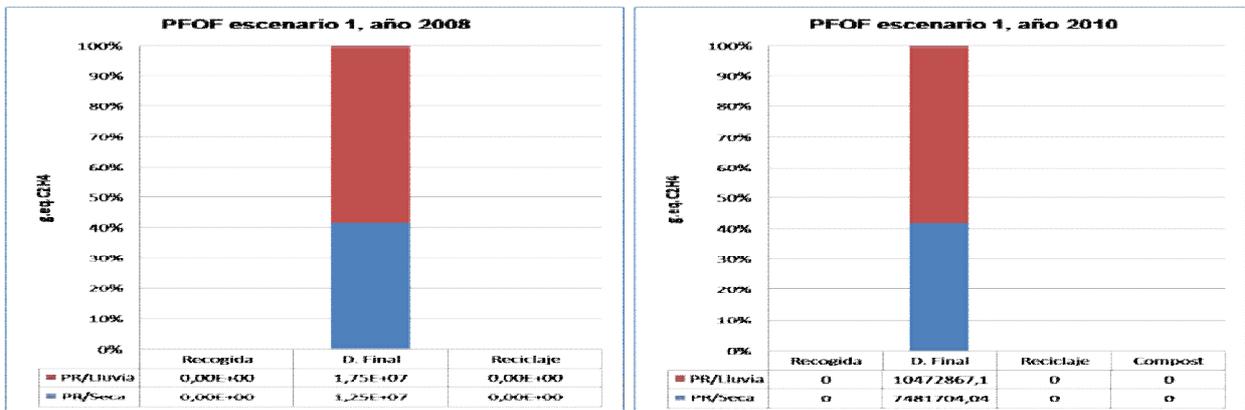


Fig.5. Grafico con las contribuciones a la categoría de impacto de formación de oxidantes fotoquímicos en ambos escenarios.

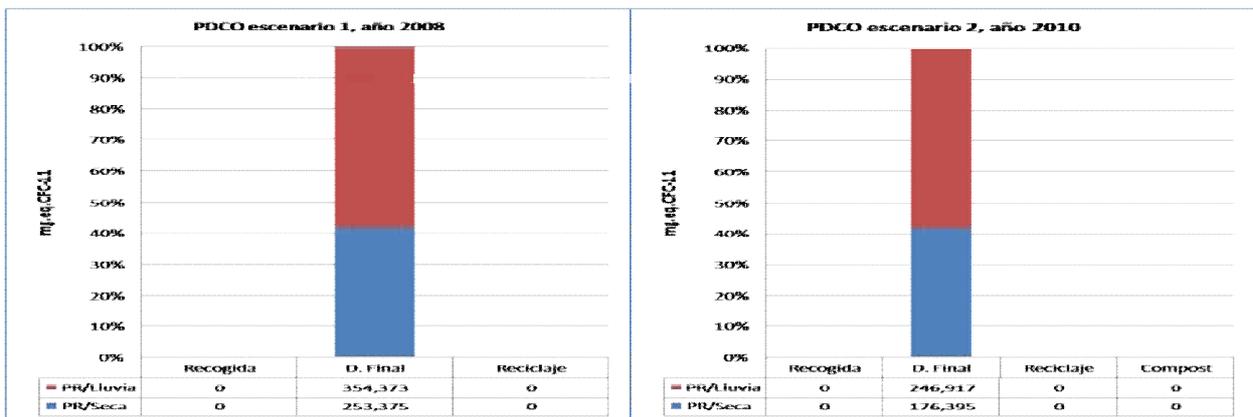


Fig.6. Grafico con las contribuciones a la categoría de impacto de destrucción de la capa de ozono en ambos escenarios.

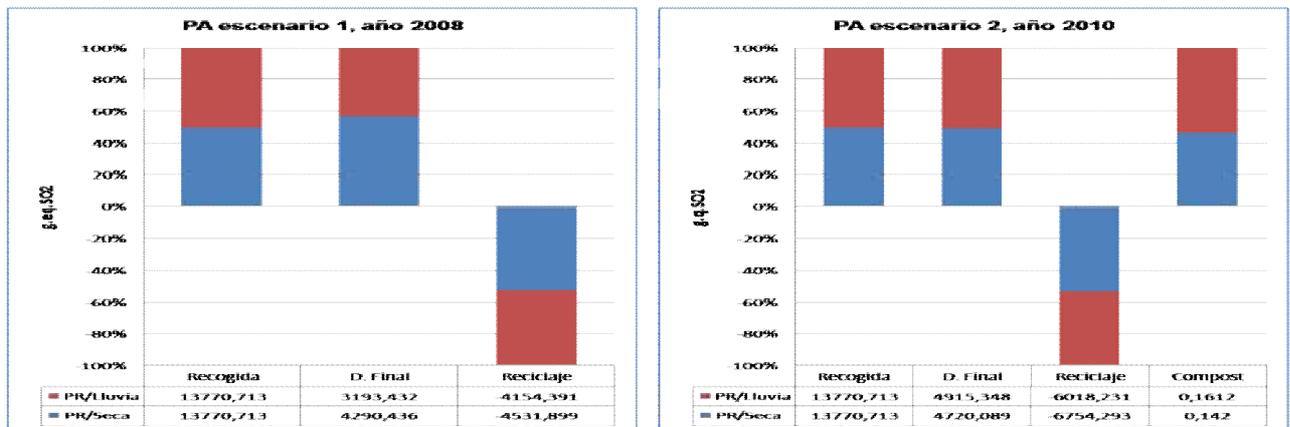


Fig.7. Grafico con las contribuciones a la categoría de impacto de acidificación en ambos escenarios.

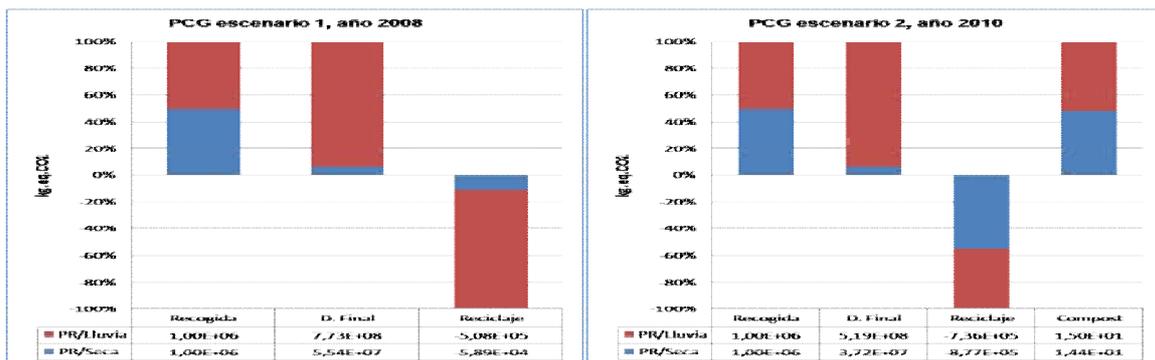


Fig.8. Grafico con las contribuciones a la categoría de impacto de calentamiento global en ambos escenarios.

La contribución total en cada una de las categorías de impacto se refleja en los gráficos siguientes:

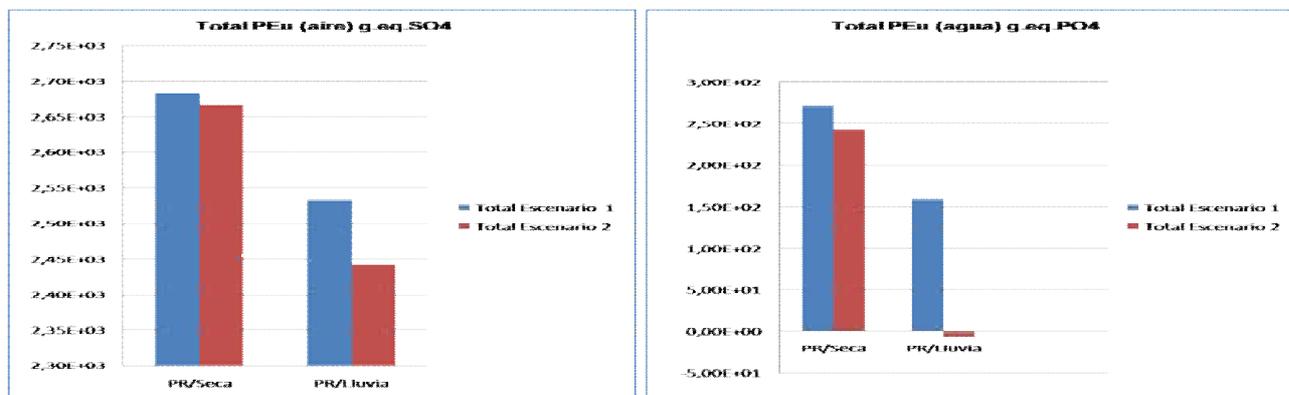


Fig.9. Grafico con la contribución total a la categoría de impacto de eutrofización por cada escenario.

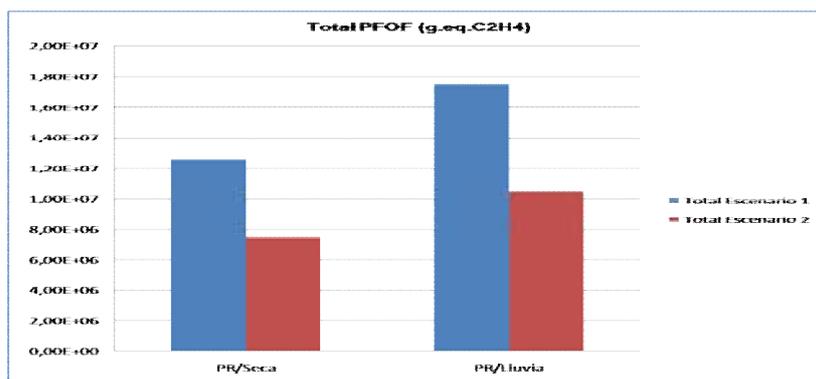


Fig.10. Grafico con la contribución total a la categoría de impacto de formación de oxidantes fotoquímicos por cada escenario.

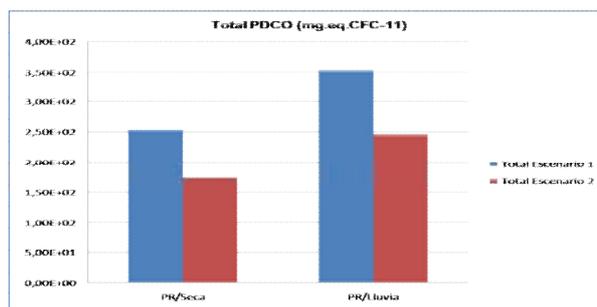


Fig.11. Grafico con la contribución total a la categoría de impacto de destrucción de la capa de ozono por cada escenario.

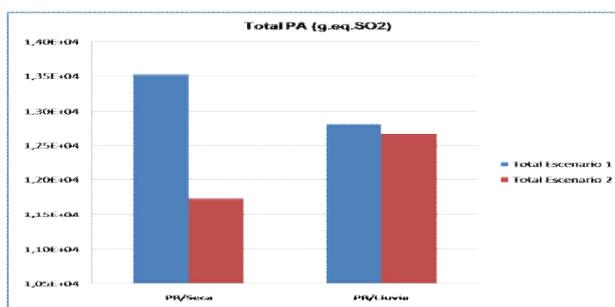


Fig.12. Grafico con la contribución total a la categoría de impacto por cada escenario.

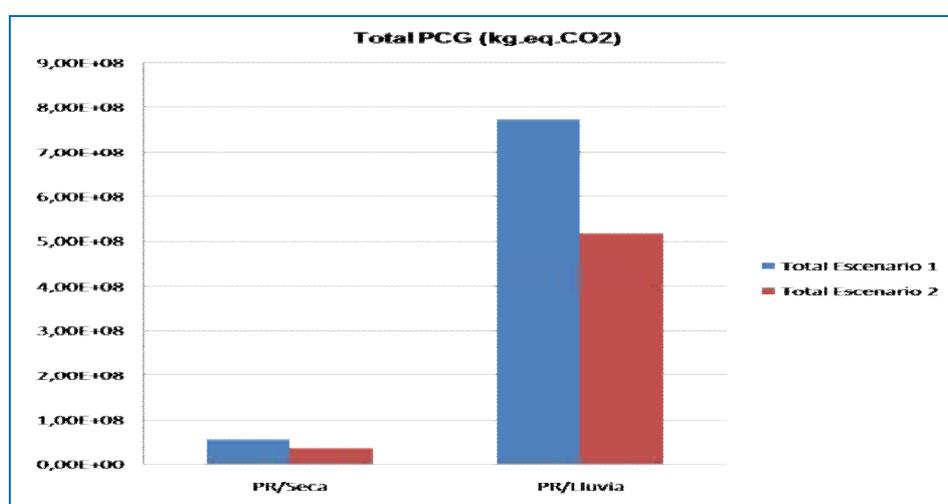


Fig.13. Grafico con la contribución total a la categoría de impacto de Calentamiento Global por cada escenario.

### ETAPA III: Interpretación de los resultados

El PEu referido al aire posee contribuciones negativas de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en la recogida y transportación, así como del NH<sub>3</sub> en el reciclaje. Las cargas evitadas se focalizan en los elementos funcionales de reciclaje y de compostaje, en este último caso en el periodo lluvioso. Este comportamiento concuerda con el planteado por Sojo (2001). Por su parte, Gómez (2009) refiere que el PEu está ligado tanto al uso de combustibles fósiles como a las emisiones del vertedero. Señala además, que en cuanto al uso de combustibles fósiles, el compuesto que más contribuye a esta categoría son los NOx. (Fig.3)

Mientras que el PEu referido al agua tiene sus contribuciones negativas en el amonio (NH<sub>4</sub>) en la disposición final y los nitratos (NO<sub>3</sub>) y fosfatos (PO<sub>4</sub>) en el reciclaje. Al igual que en las categorías antes estudiadas, aparecen cargas evitadas en el reciclaje por las emisiones de PO<sub>4</sub>, así como en el compostaje. (Fig.4)

La disposición final incide negativamente en el PFOF y no se reporta cargas evitadas, lo que no coincide con lo planteado por Sojo (2001) y Juárez *et al.*, (2008) que en sus investigaciones, el reciclaje si contribuye positivamente en esta categoría de impacto al tributar cargas evitadas. (Fig.5)

Las contribuciones negativas de los hidrocarburos totales en el PDCO se concentran en elemento funcional de la disposición final, lo que sucede fundamentalmente porque no se recolecta todo el gas generado en los vertederos. Esta categoría de impacto es la que menos contribuye en los escenarios analizados partiendo de que son bajas las emisiones de las sustancias que contienen cloro. Sin embargo, no aporta cargas evitadas. (Fig.6)

La categoría de impacto PA presenta cargas evitadas en el elemento funcional del reciclaje, excepto para el amoníaco (NH<sub>3</sub>). Esta misma categoría es afectada por las elevadas contribuciones de N<sub>2</sub>O en el elemento funcional de recogida y transportación, seguida de cloruro de hidrógeno (HCl) y Fluoruro de Hidrógeno (HF) en la disposición

final, NH<sub>3</sub> en el reciclaje y; óxidos de nitrógeno (SO<sub>x</sub>) en la recogida y transportación. De acuerdo a Juárez *et al.*, (2008) y Gómez (2009) en esta categoría de impacto influye positivamente la fabricación de compost, a los ahorros de emisiones de SO<sub>x</sub> por la generación eléctrica y el aprovechamiento de aluminio y cartón; por otro lado la biodegradación de la materia orgánica lo hace de manera negativa. (Fig.7)

El PCG en ambas épocas es afectado por las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> que se producen en el elemento funcional de disposición final lo que puede estar dado porque no se recolecta la totalidad de los gases generados en el vertedero y a las altas cantidades de materia orgánica depositada en estos lugares, comportamiento que coincide con los resultados de Sojo (2001) y Juárez *et al.*, (2008). Mientras que el dióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) aporta sus mayores contribuciones en el reciclaje por el procesamiento de materiales como el papel y el cartón, plásticos fundamentalmente (Sojo, 2001). Este mismo elemento funcional reporta cargas evitadas para el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> al disminuir las emisiones en los sitios de disposición final por el aprovechamiento económico de una fracción de RSD. (Fig.8)

Es apreciable que las contribuciones totales en el escenario No.2 son, en todos los casos, menores al escenario No.1 lo que indica que la implantación de las medidas resulta beneficiosa desde el punto de vista ambiental (Fig.9, Fig.10, Fig.11, Fig.12 y Fig.13). En cuanto a las épocas del año, la lluvia contribuye a incrementar los potenciales impactos en cada una de las categorías estudiadas lo que puede estar dado al aumento de los niveles de humedad en los RSD, aspecto este de alta incidencia en el manejo de los residuos en países tropicales Tchobanoglous *et al.*, (1998). Solo en las categorías de acidificación y eutrofización en el período seco el comportamiento no es el mismo, observándose valores superiores que en el periodo lluvioso.

## Conclusiones

1. La aplicación de la guía metodológica de evaluación ambiental en el municipio Plaza de La Revolución, como instrumento de la gestión ambiental basado en el enfoque de ciclo de vida, posibilita conocer los impactos de las estrategias de manejo de los RSD (escenarios) implantadas en los años 2008 y 2010.
2. El escenario analizado correspondiente al año 2010 muestra un mejor comportamiento ambiental con respecto al otro escenario del año 2008. Esto responde a las medidas incorporadas al manejo de los RSD en este escenario como el incremento del reciclaje de materiales recuperables, la introducción del compostaje y la recolección de los gases de vertedero.
3. La categoría de impacto con mayor contribución en cada uno de los escenarios planteados es el Calentamiento Global lo que responde a las elevadas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) reportadas en cada escenario debido a que todavía la explotación de los sitios de disposición final no es adecuada.
4. La categoría de impacto que reporta las menores contribuciones en cada uno de los escenarios analizados es la destrucción de la Capa de Ozono en respuesta a las bajas contribuciones de las emisiones de sustancias que contienen cloro.
5. El elemento funcional del manejo de los RSD referido a la disposición final es el que contribuye con mayores cargas en ambos escenarios debido a las altas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) reportadas en cada escenario.
6. El reciclaje es el elemento funcional que reporta cargas evitadas en ambos escenarios al recuperarse materiales para la elaboración de nuevos productos y bienes de consumo.

## Referencias

- Aristizabal, C. y M.S. SÁCHICA 2001. *El aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios no tóxicos en Bogotá, D.C.* Monografía para optar al título de abogado. Universidad Javeriana, Colombia, 109 p.
- Barton, J.R. y V. Patel, 1999. Life Cycle assessment for waste management. *Waste Management*, 16(1-3): 35-50.
- Cabrera, Y.; Goicochea, O. y Lemus, J. 2012. *Software para la evaluación de impacto ambiental en el análisis del ciclo de vida del manejo de los residuos sólidos domésticos.* Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniería en Informática. Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana, 80 p.

- Caldeira-Pires A; M.C., Sousa y R. Villa-Boas, 2005. *A avaliação do ciclo de vida: a ISO 14040 na America Latina*. EDITORA. Brasilia. 335 p.
- CEMPRE Uruguay, 1998. *Residuos Sólidos Urbanos. Manual de Gestión Integral*. Editorial CEMPRE – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Brasil. Uruguay. 2 –101.
- CITMA. 2001. *Ley No. 81 “Ley de Medio Ambiente” y Decretos-Leyes Complementarios*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, CITMA. Cuba, 2 – 42.
- Gerlagh, R.; P., van Beukering; M., Verma; P., Yadav y P. Pandey, 1999. *Integrated Modelling of Solid Waste in India*. CREED Working Paper. Serie No.26.
- Goicochea Cardoso, O. y M. Fabregat. 2011. *Análisis de ciclo de vida en el desarrollo de alternativas para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos. Estudio de caso: Ciudad de La Habana*. En: VIII Convención Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo 2011, V Congreso de Gestión
- Goicochea, O. 2005. *Inserción de la Evaluación Estratégica Ambiental en la gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos*. Tesis en opción del Título de Master en Gestión Ambiental. INSTEC –CITMA. La Habana. 80 p. Ambiental, Memorias CD ROM, La Habana, Cuba, julio, 1794-1811.
- Gómez, M.2009. *Aplicación de Técnicas de Ciclo de Vida al Diseño de un Sistema de Gestión de Residuos Urbanos para la Ciudad de Chihuahua*. Tesis Doctoral. Universitat Rovira, Tarragona, España, 224.
- JICA, Delegación CITMA de Ciudad de La Habana y DPSC 2007. *Estudio del Plan de Manejo Integral de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de La Habana, República de Cuba*. Inform. Final, 2007.
- Juárez, C., L. Guereca y S. Gassó. 2008. *Análisis de ciclo de vida del sistema de gestión de residuos municipales de la ciudad de México*. Trabajo presentado en I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Castellón, España, 13 pp.
- León, A.; H. Llinás y J. Tilano.2008. *Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados*. Revista Ingeniería y Desarrollo No.23. Universidad del Norte, Colombia, 119-142. Consulta 17 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.redalyc.uaemex.mx>
- Llanes, E., B. Sarriá y E. López. 2005. *Propuesta de aplicación de herramienta de Gestión Ambiental Análisis del Ciclo de Vida a la actividad agrícola*. Consulta: 6 de Diciembre de 2011. Disponible en:<http://www.RevistaCiencias.com>.
- López, M.; M.C. Espinosa y J. Delgado. 2004. Desarrollo tecnológico en la gestión integral de los residuos urbanos en Cuba. *Revista CNIC Ciencias Biológicas* La Habana, Cuba, 35 (1) 59-61.
- Mc Dougall F., P. White, M. Franke y P. Hindle. 2001. *Integrated Solid Waste Management: a life Cycle Inventory*. Editorial Blackwell Science. Estados Unidos de América. 507 p.
- ONEI. 2012. *Anuario Estadístico de Ciudad de La Habana 2011*. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 2012. Disponible en: [www.onei.cu](http://www.onei.cu)
- ONU-HABITAT. 2002. *Herramienta para una gestión urbana participativa. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos*. Colección de Manuales. Edición Sur, Santiago de Chile, 17 – 67
- Romero, B. 2003. *El Análisis de Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental*. Boletín Tendencias Tecnológicas, 91-97. Consulta: 17 de septiembre de 2012. Disponible en:<http://www.bvsde.paho.org>
- Sojo, A. 2001. *La gestión de los residuos sólidos urbanos en Puebla: Comparación ambiental y financiera con Barcelona*. Trabajo de Investigación Doctorado en Ciencias Ambientales. Opción Economía Ecológica, Territorio y Gestión Ambiental. Barcelona, España.
- Sonnemann, G. y B. de Leeuw. 2006. Life Cycle Management in Developing Countries: state of the art and Outlook. *Journal of Life Cycle Assessment, Special Issue 1*, 123-126.
- Tchobanoglous G.; H. Theisen H. y S. Vigil. 1998. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Mc Graw-Hill. 1087 p.

#### Acerca de los autores:

**Odalys C. Goicochea Cardoso:** Licenciada en Biología, Master en Gestión Ambiental y Doctora en Ciencias Técnicas. Profesor Asistente. Ha participado en más de 40 eventos nacionales e internacionales vinculados a la problemática ambiental. Ha participado en eventos, asesorías y coordinación de proyectos en más de 10 países. Imparte docencia en la actualidad en la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Superior Jose A. Echeverría. Ha sido tutora y cotutora de varias de tesis de maestrías, de grado y tesinas de diplomado. Tiene más de diez publicaciones en revistas de impacto y en eventos internacionales. Actualmente es la Directora de Medio Ambiente del CITMA.

**Mirta Fabregat Jorge:** Doctora en Ciencias Agrícolas. Ingeniera Agrónoma. Profesora Auxiliar, con más de 35 años de experiencia en la Educación Superior. Ha impartido docencia de postgrado en sus diferentes tipos a las autoridades ambientales. Ha dirigido programas de investigación, así como más de 30 trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorados, tanto en Cuba como en el exterior. Ha publicado más de 35 artículos científicos y ha participado en eventos científicos nacionales e internacionales vinculados con el manejo de enfermedades, control biológico en diferentes cultivos y con la gestión ambiental. Actualmente es profesora del Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría".