

# UTILIDAD DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS ENVASES DE BEBIDAS DE POLIETILEN TEREFALATO (PET) EN SU FASE DE POST CONSUMO

*Post Consumer Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles' Life Cycle Analysis Use*

Alejandra Joy Campos Rivera<sup>1</sup>  
Irma Fabiola Ramírez Hernández<sup>2</sup>  
Sergio Flores Martínez<sup>3</sup>  
Sören Björn Rüd<sup>4</sup>

**Dirección de contacto:** Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Edif. de la Ciencia y Tecnología Ambiental "W" 2º piso. UAM-I., Av. San Rafael Atlixco 186 Col. Vicentina. Delegación Iztapalapa, C.P. 09340, México, D.F., Teléfono (s): +52 55 5613 3662, 5613 3821, ext. 116; Fax: +52 55 56133821; e-mail: [ajcampos@ine.gob.mx](mailto:ajcampos@ine.gob.mx)

## ABSTRACT

*In this paper is used the tool of Life Cycle Analysis (ISO 14040 Series, NMX-SAA-14040-IMNC 2008; NMX-SAA-14044-IMNC-2008) is used to model recycled scenarios for post-consumer polyethylene terephthalate bottles. The material flow modeling and environmental impact calculations were performed using the software Umberto, for integration of Life Cycle Inventory (LCI) were used ecoinvent databases, NREL, and Mexican process data. The technical development was carried out in collaboration with the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) and technical support from the Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU). The main outcomes of the modeling showed that the 4 recycling increased scenarios by 37%, schemes that offer greater environmental credits correspond to national recycling versions, with 1 less environmental impacts of climate change schemes current and 0.5 times less for versions of abroad recycling. The life cycle stage of the pack of post-consumer PET beverage most shocking to climate change is outside recycling transportation by sea.*

**KeyWords:** Environmental performance, Recycling, Waste Management System, Life Cycle Analysis

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ingeniero Químico, Jefe de departamento de Tecnologías Aplicadas al Manejo de Residuos desde 2009 en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA).

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ingeniera Ambiental del Instituto Politécnico Nacional, Maestra en Ciencias en Desarrollo Sostenible del Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey y Doctora en Hidrociencias por el Colegio de Postgraduados – México. Directora de Investigación en Residuos y Sitios Contaminados. Áreas de trabajo: Residuos y Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero y Contaminantes de Cambio Climático de Vida Corta por el manejo de residuos.

<sup>3</sup> Cooperación Alemana al Desarrollo. Ingeniero Civil y candidato a la Maestría en Ciencias por la Escuela Superior de Ingeniería y arquitectura del IPN (México). Jefe Departamento en Investigación Aplicada en Residuos en el INE (2002-2010). Asesor Local en la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) en México, para el Programa de Gestión Ambiental Urbana e Industrial con temas de Instrumentos de Gestión y Estrategias de Reciclaje.

<sup>4</sup> Cooperación Alemana al Desarrollo. Ingeniero en Gestión del Medio Ambiente y Recursos en la Universidad Técnica de Cottbus con semestres de intercambio en la UFMG (Belo Horizonte, Brasil) y en la UNAM (México). Colabora desde enero 2009 en el área de gestión integral de residuos sólidos y sitios contaminados, actualmente en el Programa Gestión Ambiental Urbana e Industrial.

# **UTILIDAD DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS ENVASES DE BEBIDAS DE POLIETILEN TEREFALATO (PET) EN SU FASE DE POST CONSUMO**

## **Resumen**

En el presente trabajo se utilizó la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (ISO Serie 14040, NMX-SAA-14040-IMNC- 2008; NMX-SAA-14044-IMNC-2008) para modelar diversos escenarios de aprovechamiento por reciclaje de los envases de bebidas de Polietilen tereftalato en su fase de post consumo. La modelización del flujo de materiales y los cálculos de impactos ambientales se realizaron mediante el software Umberto; la integración de los Inventarios de Ciclo de Vida (ICV) se empleó bases de datos de Ecoinvent, NREL, y datos de procesos mexicanos. El desarrollo técnico se llevó a cabo con la colaboración con la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) y el apoyo técnico del Instituto de Investigación en Medio Ambiente Energía en Heidelberg (IFEU). Los principales hallazgos de la modelación demostraron que de los 4 escenarios de incremento de acopio para reciclaje en un 37%, los esquemas que ofrecen mayores créditos ambientales corresponden a las versiones de reciclaje nacional, con **1 vez** menos impactos ambientales por cambio climático que los esquemas actuales y, **0.5 veces** menos para las versiones de reciclaje nacional/extranjero. La etapa del ciclo de vida del envase de bebidas de PET post consumo más impactante al cambio climático el transporte para reciclaje en el extranjero por vía marítima.

## **Palabras clave:**

Desempeño ambiental, Reciclaje, Sistema de Manejo de Residuos, Análisis de Ciclo de Vida

## **Introducción**

Los envases de bebidas de Polietilen tereftalato (PET) ofrecen ventajas funcionales como resistencia, ligereza y posibilidades de distribución en masa de refrescos, aguas carbonatadas y aguas embotelladas que han sido muy bien recibidas por el sector consumidor que, en el caso particular de los refrescos en México, ocupa los primeros lugares de consumo a nivel mundial (en promedio 500 ml/hab/día). Los hábitos de consumo de la población mexicana, aunado a la introducción de nuevos materiales y productos al mercado que al alcanzar su vida útil aumentan la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ha modificado la composición de los residuos. En este sentido, los plásticos (envases y embalajes) han sido la fracción de los RSU que ha presentado el mayor crecimiento en los últimos 15 años, cuadruplicando su porcentaje en peso en la mezcla de los RSU, a diferencia del papel o el vidrio que duplicaron su volumen de generación. En ese sentido, se estima que los envases PET generados en la corriente de RSU del Distrito Federal (D.F.) es cercano al 3.0%, sin considerar los envases PET post consumo que no entran al sistema de manejo de residuos. En el caso del Interior de la República (I.R.) el porcentaje promedio de envases de bebidas PET post consumo se estima entre el 1.0 y 2.0% dependiendo de la región.

Un manejo inadecuado de los residuos de envases de PET puede tener como consecuencia impactos ambientales a los ecosistemas urbanos, rurales y naturales, como contaminación visual, problemas en el funcionamiento de servicios público, etc. Por otro lado, la fracción de PET canalizada al servicio de recolección ejerce una presión al sistema de manejo de RSU traducida en consumos energéticos para la recolección, acondicionamiento, tratamiento y disposición final. Así mismo, para los nuevos esquemas de aprovechamiento del PET es necesario evaluar las diversas tecnologías de reciclaje que operan en el mercado, tanto para el reciclaje de PET: resina PET reciclada (rPET) grado amorfo para láminas, fibras y envases utilizados en productos no alimenticios y rPET grado botella uso alimenticio para envases de bebidas y aceite; así como los requerimientos de transporte para los escenarios de acopio y reciclaje. Finalmente, los esquemas de consumo en masa de envases de un solo uso se relaciona directamente al uso ineficiente de recursos naturales (recursos petroquímicos no renovables en el caso del PET) que al no ser manejados adecuadamente por el sistema de producción, consumo y disposición representan un desperdicio de recurso aprovechable y energía recuperable.

## Marco de Referencia

Dado los altos volúmenes de generación y disposición final de envases de bebidas de PET en México, no obstante a las iniciativas del sector industrial y las tendencias de manejo hacia esquemas de recuperación y reciclaje, es necesaria la evaluación en términos de impactos ambientales de los posibles escenarios de manejo, tipos de reciclaje, sustitución de resina PET virgen por rPET grado amorfo o grado botella uso alimenticio y los esquemas de exportación. En este sentido, la generación de información sobre los diferentes esquemas de producción, consumo, reciclaje y manejo de residuos es necesaria para validar las decisiones y medidas pertinentes a tomar por los sectores gubernamental e industrial que aseguren que los envases de bebidas de PET tengan un desempeño eficiente en los sistemas tecnológico y económico, así como los menores impactos negativos al medio ambiente.

En el contexto anterior, el desarrollo de estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de residuos tipo con enfoque 3R's (Reducción, Reutilización y Reciclaje) es una herramienta clave para la evaluación de la eficiencia ambiental y la generación de información científico-técnica con enfoque al diseño de instrumentos, establecimiento y fortalecimiento de programas de gestión integral de residuos, planes de política ambiental, así como la toma de decisiones. Así mismo, se alinean con los objetivos de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en el sentido de favorecer el desarrollo sustentable a través de la gestión integral de residuos, acciones de prevención de la generación y valorización bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.

## Objetivos

El objetivo general es evaluar el desempeño ambiental de diferentes escenarios de manejo de envases de bebidas de PET post consumo en México con referencia al escenario actual, que permita establecer las bases para la toma de decisiones de política ambiental orientadas a mejorar su manejo integral, con un enfoque de valorización, en base al desempeño ambiental.

Los objetivos específicos se enfocan al desarrollo de los inventarios de ciclo de vida de las botellas PET pos-consumo mediante la definición de diferentes estrategias de consulta y obtención de información; la definición de la metodología de impactos ambientales acorde los intereses definidos en la política nacional y la cuantificación y análisis de resultados que permitan establecer bases que ayuden al establecimiento de la política pública que favorezca un mejor desempeño ambiental.

## Metodología

El estudio de ACV se realizó siguiendo la metodología estandarizada por la Organización Internacional de Estándares (ISO Serie 14040) y sus correspondientes normas mexicanas *NMX-SAA-14040-IMNC-2008* Gestión ambiental - Análisis de Ciclo de Vida- Principios y marco de referencia y *NMX-SAA-14044-IMNC-2008* Gestión ambiental -Análisis de Ciclo de Vida- Requisitos y directrices. La modelización del flujo de materiales y los cálculos de impactos ambientales se realizaron mediante el software Umberto®. En la integración de los Inventarios de Ciclo de Vida (ICV) se emplearon bases de datos de Ecoinvent, National Renewable Energy Laboratory (NREL) y datos de procesos mexicanos obtenidos mediante la elaboración y difusión de herramientas de acopio de información diseñadas específicamente para este fin (cuadros de datos y cuestionarios). Para la determinación del flujo de materiales se trabajó en dos líneas prioritarias: la consulta directa con los actores involucrados por etapa del ciclo de vida, y la consulta de referencias de medios electrónicos e impresos.

El estudio de ACV se enfoca al análisis de escenarios en la etapa post consumo de los envases de bebidas de PET no retornables producidos, consumidos y generados como residuos en México durante el año base 2011. Se hace énfasis en la fase de final de la vida útil de los envases de bebidas de PET o fase de post consumo; sin embargo, se incluye la producción de resina PET virgen para el cálculo de los beneficios del reciclaje por sustitución de resina PET reciclada (rPET) en un sistema productivo basado en materias primas vírgenes.

El sistema se conformó por 3 subsistemas principales: Manejo de residuos; Acopio y reciclaje de PET post consumo, así como la Producción de la Resina PET virgen (Fig. 1).

Están fuera de los límites del sistema: los envases de PET del tipo retornable, los envases de PET utilizados en el envasado de aceite comestible, productos de limpieza, productos de belleza y otros productos alimenticios del tipo de encurtidos, mermeladas, etc.; los procesos y materiales relacionados con la producción de la tapa rosca y etiqueta que conforman el envase como producto terminado; los procesos de producción de preforma y botella para los envases grado alimenticio y no alimenticio; los procesos de embotellado y distribución de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

La unidad funcional (UF) del ACV se definió como **el manejo de 715 167 ton de envases de bebidas de PET post consumo** que corresponden a la cantidad de envases PET producto terminado (con tapa y etiqueta) en el mercado mexicano en el año 2011.

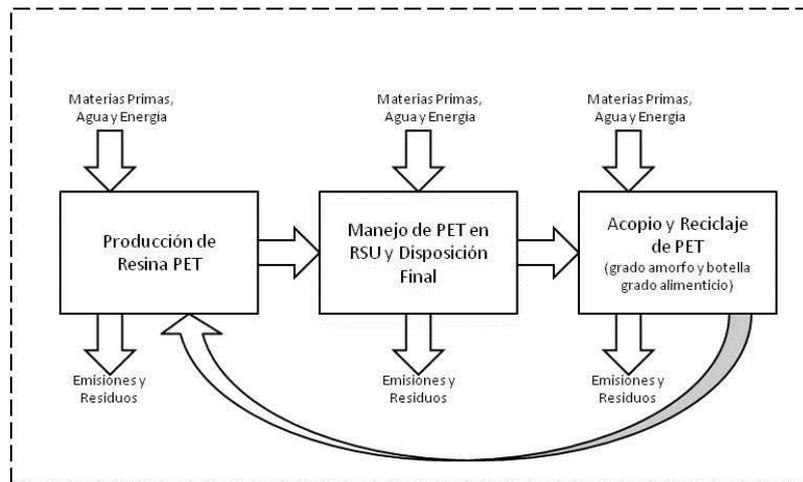


Fig. 1 Límites del Sistema

Para la modelización del sistema se definieron 5 escenarios con objeto de evaluar diferentes alternativas de incremento de acopio y reciclaje nacional e internacional, considerando las opciones de aumento de la eficiencia de separación en el sistema de recolección (actividades de pre pepena durante la recolección y pepena en el sitio de disposición final) y por otro lado, el aumento de la separación en la fuente a través de programas de separación (planes de manejo, programas de separación, etc.) con referencia a la situación actual de los envases de bebidas de PET post consumo en México.

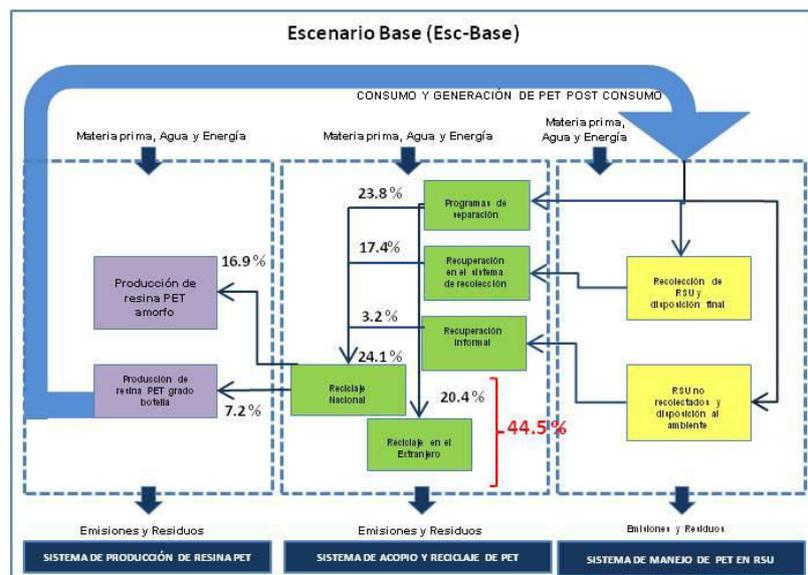


Fig. 2 Escenario Base

Para todos los escenarios planteados se evalúa a su vez la canalización de todo el material acopiado a reciclaje 100%, para determinar los impactos ambientales correspondientes a la exportación.

Los escenarios evaluados para este trabajo son:

- **Escenario Base**, *Esc-Base*, Modelo del Escenario actual con datos (2010-2012) desarrollado para el ACV, (Fig. 2).
- **Escenario de Incremento de Reciclaje Versión 1**, *Esc-Inc-v1*, Escenario donde se define un incremento del reciclaje en un 37% del volumen total acopiado, especialmente mejorando la eficiencia del sistema de manejo y programas de separación, y estableciendo una disposición al ambiente del 1%.
- **Escenario de Incremento de Reciclaje vía Nacional Versión 1**, *Esc-Inc-Nal-v1*, Este Escenario presenta un incremento del reciclaje de un 37% del volumen total acopiado, considerando el mejoramiento de la eficiencia del sistema de manejo y los programas de separación; bajo la suposición que todo el material PET acopiado es canalizado a reciclaje nacional y la disposición al ambiente es del 1%.
- **Escenario de Incremento de Reciclaje Versión 2**, *Esc-Inc-v2*, Es un escenario con incremento de reciclaje de un 37% del volumen total acopiado considerando una disminución del volumen entrante al sistema de recolección por aumento de la eficiencia en los programas de separación.
- **Escenario de Incremento de Reciclaje vía Nacional Versión 2**, *Esc-Inc-Nal-v2*, Escenario con incremento de reciclaje del 37% del volumen total acopiado considerando disminución del volumen entrante al sistema de recolección por aumento de la eficiencia en programas de separación; bajo la suposición que todo el material PET acopiado es canalizado a reciclaje nacional.

La metodología de evaluación de impactos ambientales (EICV) para el ACV de envases de bebidas de PET post consumo es el modelo CML 2001 (Center of Environmental Science of Leiden University). La selección de las categorías de impacto se realizó considerando las líneas relevantes de la problemática ambiental relacionadas al sector de la industria de plásticos en México y, en apego con los objetivos y alcances definidos para el estudio, de manera que resultan dentro de las categorías de impacto más relevantes: el cambio climático.

Para el presente trabajo se presentan los resultados de la categoría de cambio climático en la que se consideran las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) principalmente bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozono (O<sub>3</sub>) y el vapor de agua. El factor de caracterización es el potencial de calentamiento global (GWP), se expresa en unidades de CO<sub>2</sub> equivalentes para un horizonte de tiempo de 100 años.

### **Inventarios de Ciclo de Vida (ICV's)**

La obtención de información fue un proceso interactivo que consistió primeramente en la elaboración del Diagrama de Flujo típico para el sistema de manejo de los envases de bebidas de PET post consumo en México; la identificación de los procesos clave y; la definición de los flujos de PET. Por otro lado, y una vez identificados los procesos, se conformaron los inventarios de ciclo de vida (ICV's) del sistema bajo estudio.

La recopilación de la información necesaria requirió la realización de una consulta de referencias para el establecimiento del marco de referencia (datos de fondo). Por otro lado, fue prioritaria la consulta directa con los actores involucrados por etapa del ciclo de vida del PET. La consulta de referencias se llevó a cabo en medios electrónicos, impresos, presentaciones Power Point, publicaciones, normas y guías para el desarrollo de ACV's, y referencias nacionales e internacionales.

La información obtenida se analizó, procesó y se empleó en el proceso de desarrollo del *Diagrama de Flujo de Materiales*, y con ello se definieron los subsistemas de Manejo de RSU; Acopio y reciclaje de PET post consumo y Producción de Resina PET virgen. Para el desarrollo de los inventarios del envase PET se consideraron primeramente las bases de datos ya existentes para procesos similares a nivel internacional para la construcción de un modelo de referencia, así como la información, datos generados y disponibles en el país para cada una de las etapas a evaluar.

### Definición del Flujo de materiales

El Flujo de materiales de envases de bebidas de PET contiene las etapas principales del ciclo de vida de los envases para bebidas de PET post consumo correspondientes a los 3 subsistemas definidos (Fig. 3). Adicionalmente se considera la fracción en los RSU de PET post consumo que no entra al sistema de recolección: en este caso se ha modelado un proceso de pepena (separación informal) y la disposición final al medio ambiente.

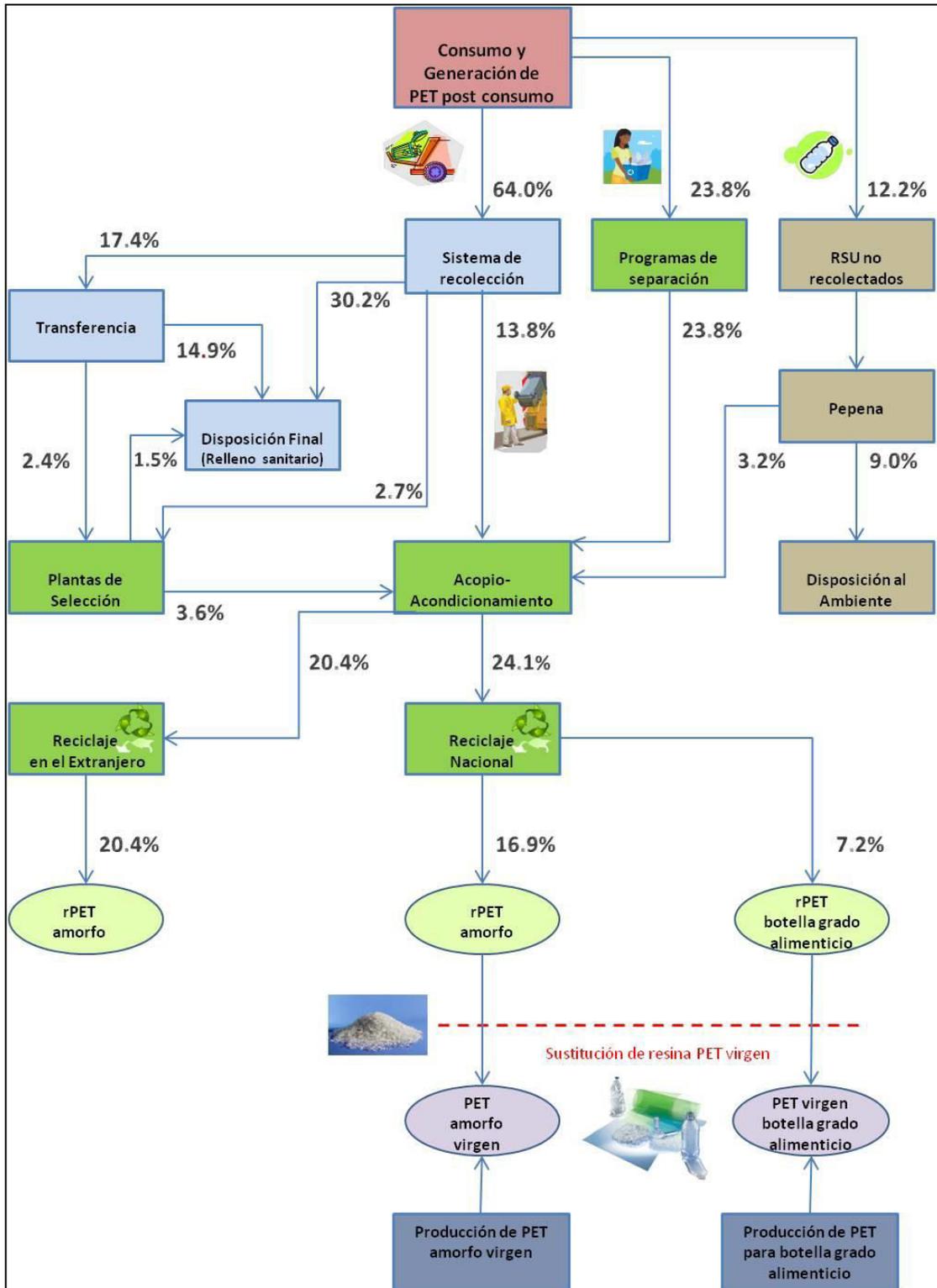


Fig. 3 Diagrama de Flujo

## Datos del Sistema de Manejo de RSU en México

Para la elaboración de un modelo del sistema de manejo de RSU, acopio y reciclaje de envases de bebidas de PET en México se trabajaron datos base que fueron utilizados en los diferentes balances de materia, cálculos y estimaciones. El modelo se trabajó con aproximaciones del Distrito Federal (D.F.) y la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que por sus características de consumo, generación de residuos PET, sistema de manejo de residuos, esquemas de acopio, estudios y datos disponibles fueron clave para el balance nacional y los cálculos correspondientes para el Interior de la República (I.R.). El modelo del sistema de manejo de residuos fracción PET post consumo empleó como base de cálculo los datos de los estudios realizados por tres instituciones académicas (UNAM, UAM, CIEMAD-IPN) para la caracterización de trece estaciones de transferencia y una planta de selección de RSU en el D.F. El % de PET contenido en la corriente de RSU del D.F. fue un dato base para la estimación del PET en el Sistema de Manejo de Residuos el país, en base a la producción de envases de bebidas de PET reportada por el sector industrial (aproximadamente 715 167 ton para 2011).

## Resultados de la Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV)

Los impactos por cambio climático para el actual esquema de ciclo de vida de los envases de bebidas de PET post consumo son los siguientes:

- Se presenta una inversión en el sistema de transporte, acopio, acondicionamiento y reciclaje de PET post consumo del esquema actual de reciclaje en México con un incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes (eqs) del orden de 4 veces con respecto al esquema sin reciclaje. Los créditos ambientales por sustitución de resina PET virgen por rPET es del orden de 9 menos emisiones de CO<sub>2</sub> eqs, por lo que el sistema total correspondiente al esquema de reciclaje en México presenta créditos ambientales del orden de 5 veces menos emisiones de CO<sub>2</sub> eqs que el sistema de referencia sin reciclaje.
- Para el escenario planteado con el planteamiento de que los volúmenes de PET actualmente acopiados en México se reciclaran en su totalidad en el país, la disminución total de emisiones de CO<sub>2</sub> eqs. sería 6 veces menor, debido a la disminución de la inversión del sistema total con respecto al sistema sin reciclaje (Fig. 8).

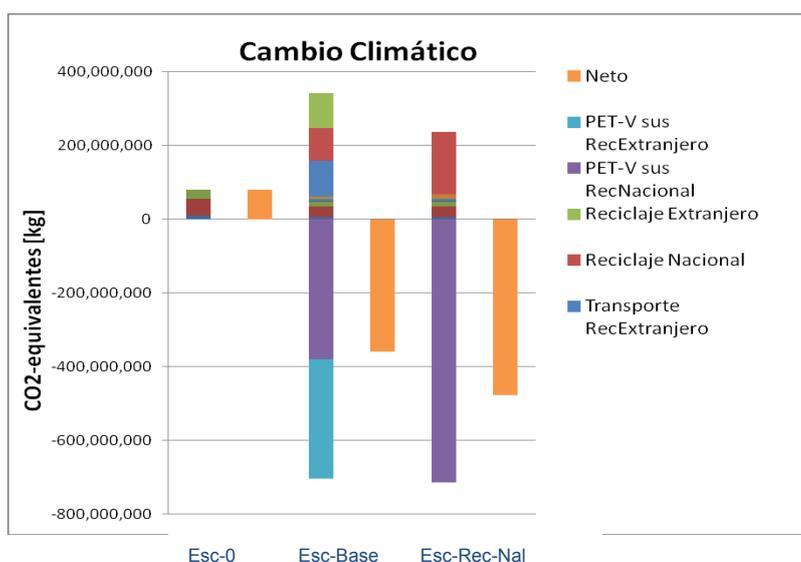


Fig. 8 Cambio Climático, evaluación de escenario de base

- De los 4 escenarios de incremento de reciclaje, los esquemas que ofrecen mayores créditos ambientales corresponden a las dos versiones de reciclaje nacional (Esc-v1-Nal y Esc-v2-Nal) con 1 vez menos impactos ambientales por cambio climático que los esquemas actuales y, 0.5 veces menos para las versiones de reciclaje nacional/extranjero (Esc-v1 y Esc-v2), (Fig. 8). La etapa del ciclo de vida del envase de bebidas de PET post consumo más impactante al cambio climático es el transporte para reciclaje en el extranjero (China) por vía marítima.
- En cuanto a las estrategias evaluadas para el incremento de acopio: planteamiento de mayor eficiencia del sistema de manejo de residuos (actividades de pre pepena, pepena y plantas de separación) y; aumento de acopio por programas de separación en la fuente; se determinó una ventaja del 3% de los esquemas de acopio vía separación en la fuente.

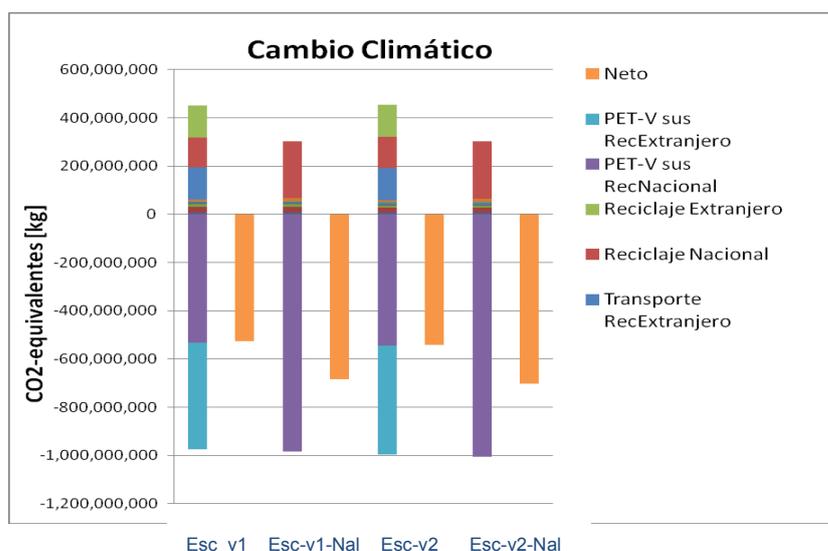


Fig. 8 Cambio Climático, evaluación de escenarios

## Conclusiones

Tomando en cuenta las suposiciones y observaciones hechas en el apartado anterior, se concluye que los actuales esquemas de acopio y reciclaje de envases de bebidas de PET en México presentan importantes ventajas ambientales por reducción de impactos ambientales al cambio climático de aproximadamente 5 veces con respecto al esquema sin valorización. Se confirma por lo tanto, que los esquemas de acopio y reciclaje de PET en México han evitado potenciales impactos ambientales por cambio climático (aprox. 700 000 ton de CO<sub>2</sub> eqs. en 2011) por la sustitución de resina PET vírgen en el mercado.

Los esquemas de acopio y reciclaje de envases de bebidas de PET post consumo implementados en México han reducido en un 40% las emisiones para la categoría de cambio climático del sistema de manejo y recolección de RSU.

En cuanto a los esquemas de acopio, por aumento de separación en la fuente (Programas de separación) y aumento de la eficiencia de separación en el sistema de recolección (Pre pepena, Pepena y Plantas de Separación) se determinaron diferencias mínimas a favor de los esquemas de separación en la fuente.

Los esquemas de incremento de reciclaje evaluados (Esc-v1, Esc-v1-Nal, Esc-v2, Esc-v2-Nal) presentan ventajas importantes por impactos ambientales evitados en la categoría de cambio climático. Presentándose ventajas ambientales potenciadas en todos los esquemas de incremento de reciclaje nacional sin exportación para reciclaje en el extranjero (2 veces con respecto al escenario base), esto es debido a las emisiones evitadas correspondientes al transporte marítimo a China.

## Referencias

### DATOS PARA LA CONFORMACION DE DIRECTORIOS DE ACTORES INVOLUCRADOS

- Directorio ANIQ (2011)
- Informe Anual 2010, GEUSAS 06 (PEPSI)
- Informe anual 2010 ARCA (Coca-Cola)

### ESTUDIOS, GUIAS Y MANUALES DE ANALISIS DE CICLO DE VIDA

- APREPET (2012), Acotaciones al diagrama de flujo de los envases de PET; 1 de febrero de 2012.
- ECOCE (2011), Estimaciones de reciclaje de PET en México; PowerPoint; 08 de diciembre de 2011
- GDF (2001), El PET y su situación actual en el Distrito Federal, Secretaria de Medio Ambiente, Dirección de Proyectos de Agua, Suelo y Residuos.
- IFEU (2009), Reporte Final: Life Cycle Assessment of waste bags.
- Life cycle assessment of pet bottle (2008), Dokuz Eylul University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- McDougall, F. (2004), Gestión Integral de Residuos Sólidos. Inventario de Ciclo de Vida. P&G. Inglaterra, Reino Unido. pp. Varias.
- Planificación de la gestión de residuos y optimización (2005), Manual para el pronóstico de residuos municipales y la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de gestión de residuos.
- Ramos, R. (2004), Informe Final: Ciclo de Vida de Envases de Bebida en México; GPE; 15 de noviembre de 2004.
- Referencia Internacional de Ciclo de Vida, datos del sistema (ILCD). (Junio, 2009), Manual: Documento de Orientación general para la Evaluación del Ciclo de Vida (ACV). Programa de consulta pública.
- Suppen N. (2004), Inventario de Ciclo de Vida en México (LCI Initiative). Ponencia DGCENICA, México, 2004.
- Schwanse E. (2010), Estudio de suministro de PET; IMER, octubre de 2010.
- Schwanse E. (2011), Artículo: Recycling policies and programmes for pet drink bottles in Mexico.

### DATOS ESTADISTICOS DE LA PRODUCCION DE RESINAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PET-VIRGEN

- CD Anuario (2011), ANIQ: Asociación Nacional de la Industria Química, A. C.
- CD Anuario Estadístico (2012), ANIPAC: Asociación Nacional de Industria del Plástico.
- PEMEX: Petróleos Mexicanos (2010), Memoria de labores
- PEMEX: Petróleos Mexicanos (2010), Anuario Estadístico
- ECOINVENT (2007), Plastics, Part II

### ESTUDIOS SOBRE PET EN EL SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS

- Galván Meras Francisco J. (2008), Prontuario sobre legislación en México. Ed. Arlequín, México, D. F. pp. Varias
- SEMARNAT (2006), Diagnostico para la Gestión Integral de los Residuos. pp. Varias
- SEMARNAT-INECC (2012), Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012.
- SEMARNAT (2008), Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2008-2012.
- Sucedo, G. (2009), Informe Final: Estudio para actualizar la composición y generación de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal (2006-2008). Caso de las estaciones de transferencia de: Benito Juárez, Central de abastos, Iztapalapa y Venustiano Carranza y Planta de Selección de San Juan de Aragón; Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Departamento de Biotecnología; septiembre de 2009.
- Tovar- Gálvez, L. (2009), Estudio para actualizar la composición y generación de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal. I. Cinco estaciones de transferencia y una planta de selección, Instituto Politécnico Nacional: Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudio sobre Medio Ambiente y Desarrollo.; octubre de 2009.
- UNAM (2009), Estudio para actualizar la composición y generación de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, Instituto de Ingeniería UNAM; para el Instituto de Ciencia y Tecnología del D. F.; marzo de 2009.

## **GUIAS PARA DETERMINAR LAS CATEGORIAS DE IMPACTO**

- Baumann et al., (2004): Baumann Henrikke, Tillman Anne-Marie, The Hitch hiker's Guide to LCA, An orientation in life cycle assessment methodology an application. United States of America, 2004.
- COMIA, (2003) (Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental)-GTZ (Agencia de Cooperación Técnica Alemana), La basura en el Limbo.
- Chapman et al., (2002): P.M. Chapman, K.T. Ho, W.R. Munns, K. Solomon and M.P. Weinstein, Issues in sediment toxicity and ecological risk assessment, Mar. Pollut. Bull. (2002).
- IPCC: Climate Change, (2007), The Physical Science Basis. WGI Contribution to the the Foruth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambrige Universiy Press, 2007
- Libralato et al., (2010): Giovanni Libralato, Volpi, Ghirardini Annamaria and Avezzù Francesco, How toxic is toxic? A proposal for wastewater toxicity hazard assessment, Environmental Sciences Department, University of Venice Cà Foscari, Campo della Celestia 2737/b, I-30122 Venice, Italy, 5 July 2010.
- Rodríguez Lepure Ana L. (2008), Gestión Local e intergubernamental de los Residuos Sólidos Urbanos. Tijuana, B. C., México. pág. 158
- SEMARNAT, (2009). Cambio Climático. Ciencia, evidencia y acciones. México, 2009.
- SEMARNAT-GTZ. (2006), Una propuesta para la gestión ambiental municipal de los residuos sólidos.
- SEMARNAT (2009), Agenda Nacional Ciudadana para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.
- Stumm, W & JJ Morgan (1981). Aquatic Chemistry. Introduction emphasizing chemical equilibria en natural water (2a ed). Wiley, M New York, NY, US.
- Taylor, F.T., 2005,Elementary Climate Physics Oxford UP

## **OTROS DOCUMENTOS Y RECURSOS**

- GIZ – INE (2012), Diagnóstico de la situación actual y análisis de factibilidad de posibles instrumentos económicos para envases de PET post-consumo en México.
- SINGIR, Sistema de Información Nacional para la Gestión de los Residuos, SEMARNAT (2012).