

# Análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido usado en contenedores de alimentos en Colombia

## Analysis of expanded polystyrene life cycle used in food containers in Colombia

Tatiana Cruz Cuevas<sup>1</sup> y Jesús Zaldúa Ramírez<sup>2</sup>

### Resumen

Existen preocupaciones globales en torno al agotamiento de los recursos no renovables y la gestión de los residuos. El poliestireno expandido es un material compuesto por materias primas basadas en el petróleo y sus altos volúmenes de residuos generados presionan sobre los rellenos sanitarios. Se realizó una revisión sistemática de la literatura para establecer el estado del arte y, posteriormente, identificar el impacto ambiental asociado al poliestireno expandido usado en contenedores de alimentos. Tras analizar el ciclo de vida de este material con énfasis en las etapas desarrolladas en Colombia, se establecieron opciones de mejoramiento ambiental para las etapas en las que se obtuvo un aporte significativo de contaminación. Como conclusión se plantea el fomento del reciclaje en función de la producción más limpia y la economía circular.

**Palabras clave:** poliestireno expandido, contaminación, impacto ambiental, mejoramiento ambiental, sostenibilidad.

### Abstract

There are global concerns about depletion of non-renewable resources and waste management. Expanded polystyrene is a material composed of raw materials based on oil and its high volumes of waste generation press on landfills. A systematic review of literature was conducted to establish the state of the art and later identify the environmental impact associated with the expanded polystyrene used in food containers. After analyzing the life cycle of this material with emphasis on the stages developed in Colombia, environmental improvement options were established for the stages in which a significant contribution to pollution was obtained. As a conclusion, promotion of recycling based on cleaner production and circular economy is proposed.

<sup>1</sup> Ingeniera ambiental, Universidad Central. Integrante del semillero de investigación Econciencia. Correo electrónico: ycruz@ucentral.edu.co.

<sup>2</sup> Ingeniero ambiental, Universidad Central. Integrante del semillero de investigación Econciencia. Correo electrónico: jzalduar@ucentral.edu.co.

**Keywords:** expanded polystyrene, pollution, environmental improvement, sustainability.

## 1. Introducción

Dentro de la familia de los plásticos —cuya producción ha aumentado de forma exponencial en las últimas décadas— se encuentra el poliestireno expandido (EPS, por su sigla en inglés), definido como un material de condiciones rígidas, con celdas selladas y relleno de aire. El poliestireno procede del petróleo, del cual se obtiene el monómero estireno. Este se polimeriza empleando agua y un agente expansor que produce el EPS, el cual es utilizado ampliamente en diversas aplicaciones en los sectores de envases, embalajes y construcción (Quintero, 2013).

La reutilización directa de los materiales plásticos generalmente está limitada entre el 1-2% debido a los elevados requerimientos de calidad de los productos (Ramón, citado en Quintero, 2013), incluyendo el EPS. La mayor preocupación ambiental radica en su lenta biodegradabilidad, ya que su disposición en vertederos de residuos se convierte en un problema por ser materiales acumulativos y ocupar grandes volúmenes (López et ál., 2014). Por ello, crece la necesidad de analizar los efectos que tiene, por una parte, la demanda de recursos naturales no renovables como el petróleo para la producción de la materia prima de los polímeros (Arandes, Bilbao y López, 2004) y, por otra parte, las alteraciones que pueden darse por la generación de los residuos sólidos de estos materiales, que finalizan su ciclo de vida en rellenos sanitarios.

Un importante número de trabajos han evaluado la sostenibilidad de la producción

de EPS utilizando el análisis de ciclo de vida (ACV), una herramienta multidisciplinaria y sistemática para medir el impacto ambiental potencial de un producto o servicio (Tan y Khoo, 2005). Según la serie ISO 14040, un estudio de ACV consta de cuatro fases: definición de objetivos, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación.

Los contenedores de alimentos son usados y desechados rápidamente, es decir, su vida útil es muy corta y, si bien existen alternativas para reciclar el poliestireno expandido, no hay tratamientos específicos para contenedores de poliestireno expandido contaminados con alimentos. Por esta razón, el enfoque de la investigación es el ciclo de vida de los contenedores de EPS usados para el transporte de alimentos.

A nivel mundial, el consumo de EPS ha presentado un aumento en los últimos años: se pasó de 10 millones de toneladas en 1978 a 60 millones de toneladas en el año 2000, de los cuales el 50% corresponde a Estados Unidos y el resto se distribuye por igual entre Europa y Japón (Arandes et ál., 2004). En Colombia se tiene el caso de Medellín, en donde la cantidad mensual de desechos de EPS puede llegar a los 2000 m<sup>3</sup>, lo que contribuye a la saturación de los rellenos (López et ál., 2014). En cuanto al reciclaje en el país, durante el año se desechan 859 000 toneladas de plástico, de las cuales se reciclan 240 520 toneladas y, de estas, solo 500 son de EPS.

Teniendo en cuenta el impacto de los residuos de EPS, el presente trabajo busca analizar el ciclo de vida del EPS para uso

en contenedores de alimentos. Con base en los resultados del ACV del EPS en Colombia, se analizan estrategias de mejoramiento ambiental basado en los principios de la ingeniería verde y la producción más limpia. La ingeniería verde incluye el diseño, la comercialización y el uso de productos que fomenten la mitigación de la contaminación sin renunciar a la eficiencia. La producción más limpia consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral a procesos, para aumentar la eficiencia general y reducir los riesgos en los seres humanos y el ambiente (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006).

## 2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en tres fases que permitieron establecer el estado del arte del ACV del EPS, la identificación y análisis de los impactos y las mejoras ambientales aplicadas a las etapas del ciclo de vida del producto. A continuación, se describe cada una de las fases planteadas.

### 2.1. Fase 1. Establecimiento del estado del arte del análisis del ciclo de vida del poliestireno expandido y la problemática ambiental en Colombia

#### 2.1.1. Análisis sistemático para la definición del estado del arte

El estado del arte del ACV-EPS se estableció mediante un análisis sistemático utilizando la base de datos Scopus. El método de búsqueda incluyó la definición de palabras claves (*environmental assessment*, *expanded polystyrene* y *life cycle assessment*), el periodo de análisis (2005-2016) y los criterios de análisis (año de publicación - región geográfica).

#### 2.1.2. Consulta asociada al contexto colombiano

Se identificaron las etapas del ciclo de vida del EPS realizadas en Colombia y se contactaron empresas colombianas encargadas de fabricar productos de EPS para obtener datos reales del proceso y elaborar el inventario de ciclo de vida (ICV).

#### 2.2. Fase 2. Definición del método de análisis del ciclo de vida

Se identificaron los métodos y el *software* utilizados en los estudios de ACV-EPS, los cuales permiten evaluar los impactos. Considerando el programa computacional seleccionado, se definió el método de evaluación a partir de la ubicación geográfica de Colombia y sus condiciones. Luego se analizaron los impactos generados en cada etapa del ciclo de vida.

### 2.3. Fase 3. Identificación de posibilidades de mejoramiento ambiental en las etapas que se desarrollan en Colombia

Se plantearon las opciones de mejoramiento ambiental, directamente relacionadas con las categorías de impacto analizadas en la fase anterior y con las etapas del ACV-EPS que se desarrollan en Colombia. Dichas opciones están enmarcadas en los principios de la ingeniería verde y la producción más limpia, las cuales promueven la minimización en el uso de recursos, el reciclaje, la valorización de residuos y la reducción de contaminantes.

## 3. Resultados

En este apartado se presentan los resultados de la primera fase del estudio, basada en la

consulta bibliográfica y el análisis sistemático de documentos.

### 3.1. Análisis descriptivo

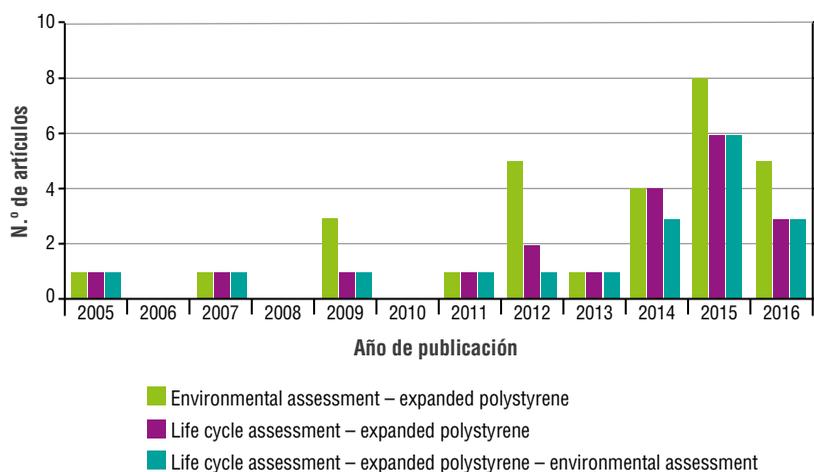
En la revisión sistemática de artículos científicos se encontraron 56 que incluían las combinaciones de palabras clave antes mencionadas. Las publicaciones científicas que contienen las combinaciones de palabras clave seleccionadas o alguna de ellas se observan en la figura 1 por distribución anual. A partir del 2012 se evidencia el incremento de los artículos sobre el tema con la combinación de palabras clave *environmental assessment* y *expanded polystyrene*, la cual representa la más alta contribución al estudio por ser la combinación que aparece en la mayoría de los artículos publicados durante gran parte del periodo analizado.

En 2014 y 2015, el número de documentos que consideran las palabras clave aumenta con respecto al resto de los años del periodo de análisis. Esto puede indicar que con el tiempo aumenta el interés de la comunidad científica por el tema del ACV-EPS. En 2016

disminuyó la publicación de artículos, lo que sugiere una tendencia hacia la madurez en el tema.

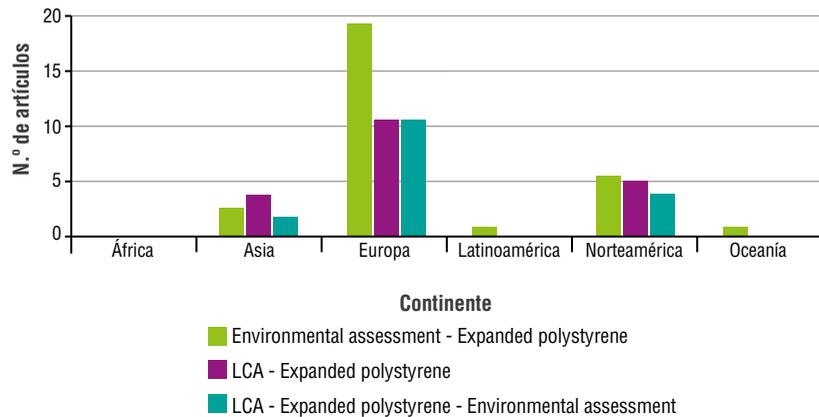
Para analizar la distribución geográfica en donde se concentran los estudios en ACV-EPS, los artículos se clasificaron por regiones asociando las palabras clave (figura 2). El principal resultado fue una tendencia a la investigación sobre la evaluación ambiental, ya que dentro de la búsqueda se resalta la combinación *environmental assessment - expanded polystyrene*, que se evidencia en todos los continentes y arroja mayor cantidad de artículos.

Europa es el continente que más contribuye al tema de estudio con 42 publicaciones, ya que es la región con mayores avances en la gestión de residuos reciclables plásticos según el estudio realizado por Gaiker (2007). Latinoamérica, por su parte, aporta solo un artículo científico, lo cual muestra que en esta región hasta el momento no se priorizan las investigaciones que enriquezcan el conocimiento del ACV-EPS. África no reporta publicaciones sobre el tema de estudio en los últimos 11 años.



**Figura 1.** Artículos científicos por distribución anual con combinaciones de palabras clave seleccionadas.

**Fuente:** elaboración con base en datos de Scopus.



**Figura 2.** Distribución de artículos científicos por continente con combinaciones de palabras clave seleccionadas.  
**Fuente:** elaboración con base en datos de Scopus.

### 3.2. Análisis de las etapas del ciclo de vida

A partir de las fases establecidas por la norma ISO 14040 de 2006 se definieron los objetivos, el alcance del estudio y los límites del sistema.

#### 3.2.1. Objetivos y unidad funcional

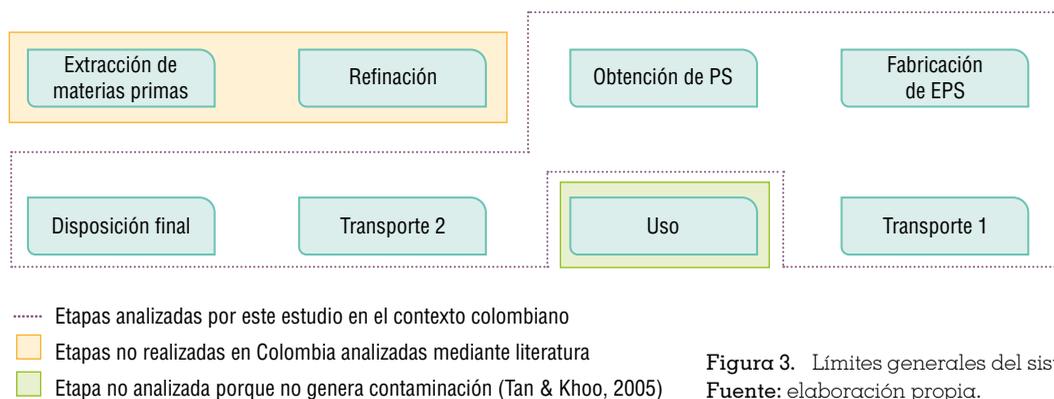
Se buscó identificar y cuantificar los impactos ambientales asociados a las etapas del ciclo de vida del EPS para uso en contenedores de alimentos, con el fin de plantear estrategias de mejoramiento ambiental en Colombia. Como unidad funcional se determinó la producción de 1 kg de EPS producido en Colombia.

#### 3.2.2. Alcance

El alcance del estudio del ACV-EPS se definió a partir de los límites generales del sistema.

#### 3.2.3. Límites generales del sistema

El ciclo de vida del EPS inicia con la extracción de materias primas. La principal materia es el estireno, proveniente del proceso de refinación del petróleo; estas etapas se encuentran fuera de los límites generales del sistema. La obtención de poliestireno (PS), fabricación de EPS, transporte a la distribución, transporte a la disposición final y disposición final se consideran dentro de los límites del estudio por ser procesos realizados en Colombia (figura 3).



**Figura 3.** Límites generales del sistema.  
**Fuente:** elaboración propia.

### 3.2.4. Inventario del ciclo de vida

La información del ICV fue recolectada a partir de datos suministrados por la empresa Aislapor S.A.S., la cual fabrica EPS y abastece a grandes almacenes de cadena en Colombia y

fuentes secundarias. En la tabla 1 se presentan los flujos de masa de las etapas del ciclo de vida del EPS: los valores se relacionan a la unidad funcional de 1 kg de EPS con una densidad aproximada de 50 m<sup>3</sup>/kg (Kangupor, 2018).

Tabla 1. Inventario de ciclo de vida del poliestireno expandido

Producción mensual promedio de poliestireno expandido		42 831 kg/mes	
Flujos del proceso			
Etapa	Dato	Cantidad	Unidad
Obtención del poliestireno	70 % estireno	0,80	kg estireno/kg EPS
	22 % agua desmineralizada	0,25	kg agua desmineralizada/kg EPS
	6 % pentano	0,07	kg pentano/kg EPS
	2 % químicos menores	0,02	kg químicos menores/kg EPS
	Energía eléctrica (polimerización)	0,17	kW/kg EPS
	Energía eléctrica (secado)	0,02	kW/kg EPS
Densidad final aproximada del EPS			
Fabricación	Perlas de PS	1,14	kg perlas de PS/kg EPS
	Vapor de agua (preexpansión)	2,71	kg vapor de agua/kg EPS
	Energía eléctrica	0,17	kW/kg EPS
	Vapor de agua (expansión y moldeo)	2,71	kg vapor de agua/kg EPS
	Energía eléctrica (caldera)	0,09	kW/kg EPS
	Agua (caldera)	3,36E-03	m <sup>3</sup> agua / kg EPS
	Carbón (caldera)	1,25E-02	kg carbón/kg EPS
	Energía eléctrica (expansión y moldeo)	0,16	kW/kg EPS
	Energía eléctrica (trituración)	0,07	kW/kg EPS
	Energía eléctrica (enfriado)	0,86	kW/kg EPS
	Agua (enfriado)	1,68E-03	m <sup>3</sup> agua/kg EPS
	Emisión caldera CO <sub>2</sub>	2,41E-02	kg CO <sub>2</sub> /kg EPS
	Emisión caldera CO	6,58E-03	kg CO/kg EPS
	Emisión caldera NO	3,69E-03	kg NO/kg EPS
	Emisión caldera NO <sub>2</sub>	4,42E-04	kg NO <sub>2</sub> /kg EPS
	Emisión caldera SO <sub>2</sub>	2,26E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg EPS
	Emisión caldera SO <sub>3</sub>	1,54E-05	kg SO <sub>3</sub> /kg EPS
	Emisión caldera H <sub>2</sub> O	1,07E-02	kg H <sub>2</sub> O/kg EPS
Emisión caldera MP	8,86E-04	kg MP/kg EPS	
Emisión caldera CxHy	5,62E-04	kg CxHy/kg EPS	
Energía eléctrica (recirculación)	0,09	kW/kg EPS	

Producción mensual promedio de poliestireno expandido		42 831 kg/mes	
Flujos del proceso			
Etapa	Dato	Cantidad	Unidad
Transporte 1 (de la empresa a la distribución)	Combustible (diésel)	2,15E-03	gal diésel/kg EPS
	Emisión CO <sub>2</sub>	0,03	kg CO <sub>2</sub> /kg EPS
	Emisión CO	3,62E-06	kg CO/kg EPS
	Emisión NO <sub>x</sub>	5,27E-06	kg NO <sub>x</sub> /kg EPS
	Emisión SO <sub>x</sub>	1,25E-05	kg SO <sub>x</sub> /kg EPS
Transporte 2 (del uso a la disposición final)	Combustible (diésel)	8,42E-03	gal diésel/kg EPS
	Emisión CO <sub>2</sub>	1,25E-02	kg CO <sub>2</sub> /kg EPS
	Emisión CO	5,04E-06	kg CO/kg EPS
	Emisión NO <sub>x</sub>	7,34E-06	kg NO <sub>x</sub> /kg EPS
	Emisión SO <sub>x</sub>	4,87E-05	kg SO <sub>x</sub> /kg EPS
Disposición final	94 % residuos de EPS a relleno sanitario	0,94	kg EPS a relleno sanitario/kg EPS
	6 % residuos de EPS a reciclaje	0,06	kg EPS a reciclaje/kg EPS
	Emisión CO <sub>2</sub>	3,67	kg CO <sub>2</sub> /kg EPS

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Selección del método y categorías de impacto

El programa SimaPro incorpora diferentes métodos de evaluación de impactos que, en su mayoría, proceden de Europa; sin embargo, se definió el uso de la metodología TRACI 2 de Estados Unidos por estar más cerca de Colombia y contar con la creación de un método de evaluación de impacto aplicable a SimaPro. Esta metodología fue desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por su sigla en inglés), la cual permite la caracterización de los efectos potenciales ambientales a nivel *midpoint* (Cámara, 2012).

La selección de documentos base se realizó mediante tres criterios establecidos por los autores: a) artículos que desarrollan el análisis por lo menos de dos etapas del proceso, b) estudios que estiman un ICV y c) documentos

que realizan el ACV del EPS identificando categorías de impacto. Mediante este procedimiento se identificaron 11 artículos y se revisó cada uno para determinar las categorías analizadas y su respectivo uso.

### 3.4. Evaluación de impactos ambientales mediante SimaPro

La evaluación de impacto incluye dos secciones principales:

*Caracterización:* los datos del ICV se clasifican en categorías de impacto ambiental de acuerdo con el efecto de cada una sobre el ambiente y se miden en porcentaje.

*Normalización:* se dividen los resultados de la caracterización por los factores de normalización (valores de referencia).

Se utilizaron las bases de datos European Life Cycle Database (ELCD) 2.0 y ULSCI, que incorporan la información necesaria para

cuantificar los impactos ambientales del caso de estudio. Con los resultados obtenidos de SimaPro se construyeron gráficos para identificar, por medio de categorías, los impactos ambientales significativos de cada una de las etapas del ciclo de vida del EPS. El porcentaje de contribución de las etapas se observa en la figura 4.

### 3.4.1. Potencial de calentamiento global [CO<sub>2</sub> eq]

El 96% de los efectos negativos sobre el ambiente durante la obtención de PS se relaciona con el calentamiento global por el consumo de materias primas derivadas de recursos fósiles, principalmente del petróleo, para la producción de perlas de PS. De manera similar, el 93% de las alteraciones causadas al fabricar EPS se asocia al calentamiento global, debido a la generación de energía requerida en el proceso por el uso de calderas que consumen recursos fósiles. Posteriormente, durante el transporte para su distribución se aporta un 78% al potencial de calentamiento global (GWP, por su sigla en inglés) y 75% en el transporte para su disposición final, esto debido a la generación de emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y CO<sub>2</sub> de la combustión de los

motores vehiculares. Finalmente, el 100% de los impactos asociados a la disposición final se relacionan con el GWP por las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el relleno sanitario.

### 3.4.2. Esmog [kg O<sub>3</sub> eq]

El transporte fue el principal contribuyente para la creación de esmog, en mayor medida el transporte a la disposición final. Esto se debe a que la quema de combustibles aporta a la formación de compuestos orgánicos volátiles (COV) y estos, a su vez, reaccionan con los óxidos de nitrógeno, también emitidos por los vehículos, y contribuyen a la formación de esmog fotoquímico. En la etapa de fabricación de EPS, el esmog es la categoría que genera mayor impacto, en primer lugar, debido al incremento del consumo de energía por la cantidad de maquinaria utilizada y, en segundo lugar, por las emisiones generadas por la caldera, ya que el carbón es el combustible empleado.

En general, las etapas del ciclo de vida del EPS sobre las demás categorías de impacto como la acidificación, el agotamiento del ozono y la eutrofización tienen menor aporte, pues ningún valor supera el 1%. En la figura 4 se presentan los aportes realizados por cada etapa del ciclo de vida a las categorías de impacto.

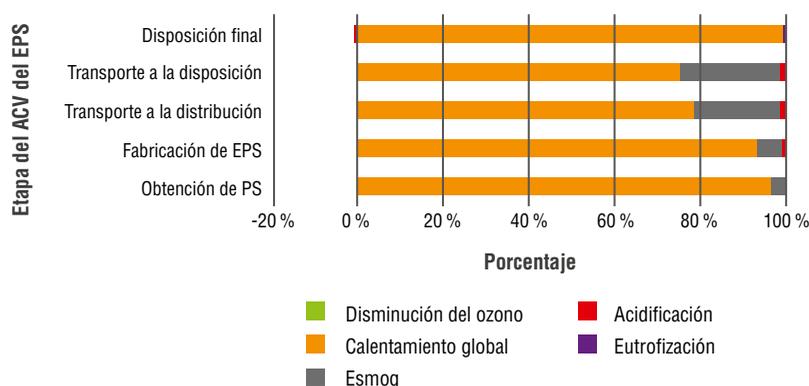


Figura 4. Evaluación de impactos ambientales en el ciclo de vida del poliestireno expandido (caracterización).

Fuente: elaboración con base en datos de SimaPro.

### 3.4.3. Potencial de acidificación [ $SO_2$ eq]

Los resultados muestran que el potencial de acidificación (AP, por su sigla en inglés) tiene su mayor aporte en la etapa de fabricación del EPS debido a las emisiones de la caldera y el uso de las perlas de PS obtenidas del estireno, monómero resultante de la extracción de petróleo y gas natural. El AP afecta las etapas de transporte, ya que se emiten sustancias como  $NO_x$ ,  $SO_x$ , CO y  $CO_2$  a la atmósfera durante la combustión de combustibles fósiles. Sin embargo, se observa un impacto positivo en el AP en la etapa de disposición final por el reciclaje de los residuos de EPS, pues al reciclar EPS se evita la disposición final en relleno sanitario y, por ende, se evita la contribución a la acidificación.

### 3.4.4. Potencial de eutrofización [ $PO_4$ eq]

En la disposición final se observa un impacto elevado en la categoría de eutrofización

respecto a las categorías restantes. Esto se debe a que el EPS, al estar compuesto por pentano ( $C_5H_{12}$ ) y estireno ( $C_8H_8$ ), realiza un aporte de macronutrientes al suelo y al aire. El impacto es alto, ya que el 94% de los residuos de EPS son dispuestos en relleno sanitario (López et ál., 2014).

### 3.4.5. Potencial de destrucción de la capa de ozono [CFC-11 eq]

En todas las etapas del ciclo de vida analizadas, el deterioro del ozono para la producción de 1 kg no presenta mayor contribución (figura 5), esto se debe en gran medida a lo estipulado en el Protocolo de Montreal, en el que se concretó que para el 2010 los países en desarrollo debían eliminar en su totalidad la implementación de clorofluorocarbonos (CFC), los cuales deterioran la capa de ozono. Por lo anterior, se corrobora que Colombia está cumpliendo con las metas postuladas en el Protocolo de Montreal.

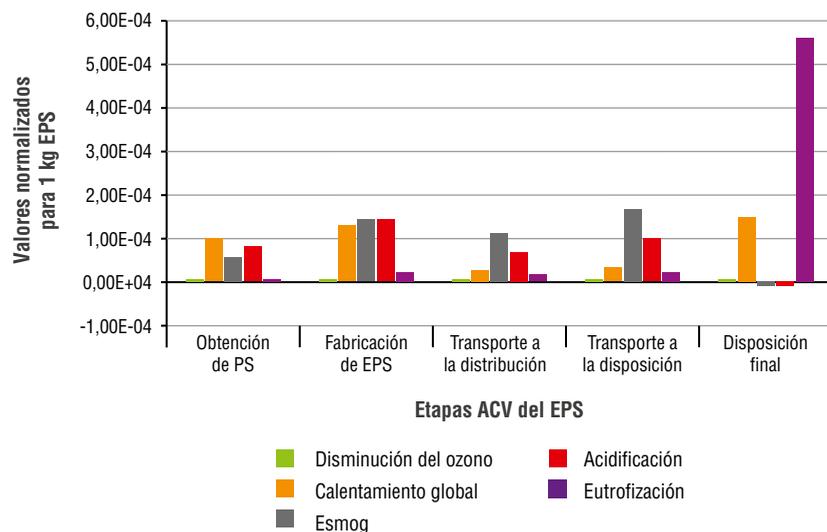


Figura 5. Evaluación de impactos ambientales del análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido (normalización).

Fuente: elaboración con base en resultados de SimaPro para 1 kg.

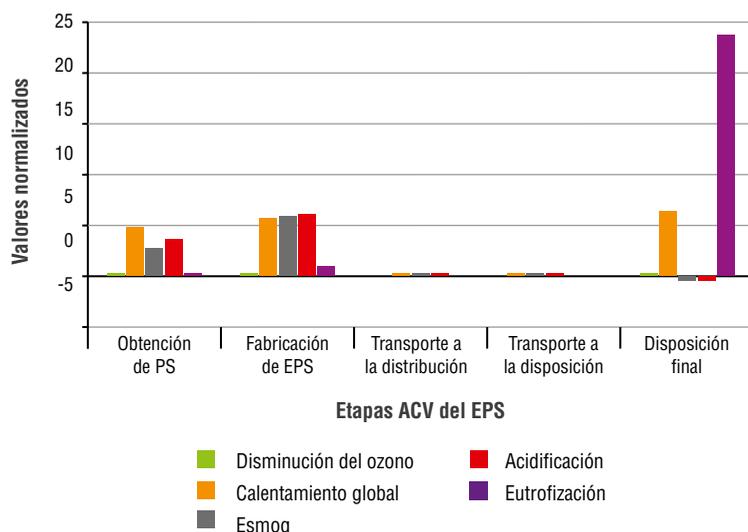
### 3.5. Análisis global

El rango de los resultados en la figura 5 (entre  $-1 \times 10^{-4}$  y  $6 \times 10^{-4}$ ) refleja los impactos ambientales generados durante el ciclo de vida de 1 kg de EPS, por tanto, podría concluirse erróneamente que son impactos poco relevantes. Sin embargo, al realizar la evaluación de impactos de la producción mensual de la empresa colombiana Aislapor S. A. S., que corresponde a 42 831 kg de EPS, se logró tener una dimensión adecuada del impacto ambiental que genera la producción de EPS (figura 6).

Para una producción de 42 831 kg de EPS, los impactos ambientales se incrementan sustancialmente respecto a la producción de 1 kg; por eso, en la figura 5 la escala es de  $1,00E-4$  a  $6,00E-4$  y en la figura 6, de  $-0,5$  a  $25,0$ . Asimismo, el mayor impacto (la eutrofización) pasó de tener un valor de  $5,56E-06$  a

23,8. A mayor producción, mayores serán los impactos negativos sobre el ambiente. Por lo tanto, la investigación tiene una mayor relevancia debido a que en Colombia se producen aproximadamente 530 000 toneladas de EPS al año (Congreso de la República de Colombia, 2017).

Las etapas de transporte de la producción a la distribución y del transporte desde las zonas de uso del EPS a los vertederos de residuos tienen un comportamiento diferente a las demás etapas del ciclo de vida. Como muestra la figura 6, todas las categorías aumentaron, pero los transportes no incrementaron en la misma proporción. Esto se debe al aumento en la cantidad de EPS producido, por lo que el transporte de este material deja de ser importante, pues los mayores impactos están presentes en la fabricación del EPS y la disposición final del mismo.



**Figura 6.** Evaluación de impactos ambientales del análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido (normalización).

**Fuente:** elaboración con base en resultados de SimaPro para valor mensual.

### 3.6. Opciones de mejoramiento ambiental

A partir de los impactos ambientales negativos identificados en SimaPro en el ACV del EPS se plantearon alternativas de mejoramiento para los puntos críticos del proceso, es decir, en las etapas de obtención de PS, fabricación de EPS y disposición final de EPS. No se tendrán en cuenta las etapas de transporte, pues, como se observa en la figura 6, no presentan relevancia al incrementar la cantidad de la producción.

Se resalta el compromiso de las organizaciones de Asia (AMEPS), Europa (EUMEPS) y Norteamérica (EPS-IA) que formaron la Alianza Internacional de EPS (INEPSA) en 1992. Además, 31 países en todo el mundo firmaron el histórico Convenio Internacional de Reciclaje, en el cual se plantean cuatro opciones principales de reducción de residuos para envases EPS conocidas como las 4R: reducir, reutilizar, reciclar y recuperar (Environmental Protection Department of Hong Kong, 2014). Por medio de ejemplos implementados en diferentes países se ilustran las propuestas de mejoramiento.

#### 3.6.1. Fortalecimiento del reciclaje

En China, para el 2006 las autoridades de Shanghai les exigieron a los fabricantes de EPS un pago de 5 centavos de dólar por cada caja producida; de esta forma, se subsidió a los recicladores del material, ya que su recuperación no es rentable. Según Flórez y Toro (2016), gracias a esta iniciativa se reciclaron aproximadamente 900 millones de contenedores de EPS en 2006.

En Colombia, la empresa Darnel, fabricante de productos plásticos desechables, entre estos contenedores de alimentos elaborados en EPS, llevó a cabo la campaña *Somos útiles*, en la que se recolectaron contenedores de

alimentos hechos de EPS, se trituraron y, con la resina, se elaboraron útiles escolares para donarlos a colegios (Acoplásticos, 2016).

#### 3.6.2. Reducción de uso de poliestireno expandido

En Hong Kong, el gobierno promueve la disminución del uso de productos desechables. Las técnicas que utilizan para evitar la cantidad de residuos de EPS están dirigidas a escuelas, proveedores, restaurantes e individuos en general y son: reemplazar el uso de contenedores de EPS por contenedores reutilizables, proporcionar un descuento a los clientes que traen sus propios contenedores para comprar comida o bebida para llevar, y reunirse con los recicladores para recoger y reciclar los contenedores desechables usados (Environmental Protection, 2007).

#### 3.6.3. Reutilización

En Australia se utilizan miles de cajas de EPS para el mantenimiento de productos de mar, ya que este país posee el tercer mercado de pescado más grande del mundo. En 2012, Sidney Fish Market (SFM) inició un programa de reciclaje de EPS que comprometía a los miembros de la cadena de mercado para que ubicaran las cajas de pescado en los contenedores dispuestos por SFM, los cuales termocompactan el material para reutilizarlo (Flórez y Toro, 2016). Entre 2012 y 2014 se evitó el depósito de 109,6 toneladas de residuos de EPS en vertederos.

#### 3.6.4. Sustitución de materiales

En Colombia, la empresa Ecopack & Papers, dedicada a la fabricación de empaques, cuenta con un portafolio de productos para transporte de alimentos elaborados con fibra de caña de azúcar 100% biodegradable y resistente a altas temperaturas (Ecopack & Papers, 2017).

Investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) emplearon el polisacárido de glucosa (monómero), que contiene semillas de tamarindo, para inyectarle químicamente acrilato de etilo (monómero). Con ello obtuvieron un copolímero, que es un producto biodegradable capaz de sustituir el EPS utilizado para fabricar contenedores desechables. Esta es una prueba de laboratorio que pretende escalar su producción a nivel industrial.

En Estados Unidos se presentó un producto de envasado ecológico llamado *EcoCradle*<sup>®</sup>, construido a partir de raíces de residuos de cultivos y de hongos. La tecnología pertenece a Ecovative Design, una empresa dedicada al desarrollo de materiales ecológicos y es la primera instalación de envasado del mundo que fabrica material de embalaje, construcción y productos de consumo utilizando setas (Packaging Gateway, 2011).

#### 4. Conclusiones

Se logró establecer el estado del arte del ACV del EPS mediante el análisis sistemático de documentos asociados y se evidenció la deficiencia de información acerca del tema en Latinoamérica y en Colombia. Se infiere que la comunidad científica en América del Sur no ha encontrado prioritario estudiar el EPS en su ciclo de vida y, por eso, no hay claridad de los impactos que genera. Esta falencia en la información y divulgación genera desconocimiento de la problemática ambiental relacionada con el EPS, lo que se refleja en la escasa cultura del reciclaje de estos materiales o la disminución de su uso.

El presente estudio generó aportes como el inventario de ciclo de vida del material, los

límites del sistema y es el primer estudio en Colombia que utiliza SimaPro para el cálculo de los impactos ambientales producidos por el EPS. Se plantean recomendaciones de política pública como el subsidio a los recicladores por parte de las empresas fabricantes de contenedores de EPS y la generación de incentivos (descuentos) para las personas que usen contenedores reutilizables en restaurantes, empresas, colegios y universidades. Se resalta la importancia de la elaboración de este tipo de estudios considerando la creciente producción del EPS en el mundo, para inducir a la toma de decisiones que permitan una producción y disposición final más amigable con el ambiente.

Considerando que actualmente es más viable económicamente que las empresas colombianas importen el poliestireno de China, Taiwán y Corea del Sur para llevar a cabo la transformación del polímero en Colombia, se propone, para futuras investigaciones de ACV del EPS, que estos países incluyan el transporte a los puertos colombianos y dentro del país y que incorporen el impacto que tiene el EPS sobre la salud humana al implementar el análisis de la categoría de impacto ambiental, de manera que los productos sean clasificados como carcinógenos y no carcinógenos.

#### Referencias

- Acoplásticos. (2019). Nuestra asociación. Bogotá. Consultado en <http://bit.ly/2kw7zCN>.
- Arandes, J., Bilbao, J. y López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Cámbara, J. (2012). *Análisis de la confiabilidad de las metodologías EICV* (tesis de maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo.

- Congreso de la República. (2017). Informe de ponencia para primer debate al proyecto de Ley 099 de 2017 Cámara. Por medio del cual se fomenta el uso de recipientes desechables biodegradables para consumo en establecimientos comerciales o en la modalidad de servicio a domicilio y se dictan otras disposiciones. Consultado en <http://bit.ly/2kwjArT>.
- Ecopack & Papers. (2017). Consultado en <http://bit.ly/2qp7SCw>.
- Environmental Protection Department of Hong Kong. (2007). Waste reduction and recovery. Factsheet No. 5. Recovery and recycling of expanded polystyrene (EPS) products in Hong Kong. Waste Reduction Group. Consultado en <http://bit.ly/2m23C9u>.
- Environmental Protection Department of Hong Kong. (2014). Waste and recovery. Factsheet No. 5. Recovery and recycling of expanded polystyrene (EPS) products in Hong Kong. Waste Management Policy Group. Consultado en <http://bit.ly/2k6jRBQ>.
- Flórez, J. y Toro, E. (2016). *Revisión del estado del arte de la logística inversa y adaptación al estudio técnico para la disposición final del poliestireno expandido* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Gaiker. (2007). *Reciclado de materiales: perspectivas, tecnologías y oportunidades*. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia, Departamento de Innovación y Promoción Económica.
- Kangupor. (2018). Consumo masivo. Neve-ras. Consultado en <http://bit.ly/2DLR-pva>.
- López, D., Rhenals, P., Tangarife, M., Vega, K., Rendón, L., Vélez, S. y Ramírez, M. (2014). Tratamiento de residuos de poliestireno expandido utilizando solventes verdes. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(1), 1-9.
- Packaging Gateway. (2011). Ecovative's EcoCradle® Mushroom™ Packaging Plant, New York. Consultado en <http://bit.ly/2kuoA08>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2006). *Acuerdos ambientales y producción más limpia. Preguntas y respuestas*. Nairobi: UNEP. Consultado en <http://bit.ly/2lGGn4r>.
- Quintero, C. (2013). *Reciclaje termo-mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios* (tesis de maestría). Universidad de Manizales, Manizales. Consultado en <http://bit.ly/2lxdzvj>.
- Tan, R. y Khoo, H. (2005). Life cycle assessment of EPS and CPB inserts : design considerations and end of life scenarios. *Journal of Environmental Management*, 74(3), 195-205. DOI: <http://doi.org/c6r95k>.