

## Investigación

# Estudio de diseños ecológicos para el ciclo de vida del poliestireno expandido, como forma de mejorar su comportamiento medio ambiental

Liseth Casas Mateus<sup>1</sup>, Natalia Zapata Restrepo<sup>2</sup>

## Resumen

El *ecodiseño* es una técnica que evalúa el impacto ambiental durante el ciclo de vida de un producto, para ello se hace necesario estudiar las diferentes etapas de un producto como extracción, fabricación, distribución, uso y disposición final.

Este método permitió cuantificar impactos ambientales de cada fase del ciclo de vida del poliestireno expandido, y en relación a los resultados se concluye que este es un producto altamente contaminante; por tanto, se establecen estrategias de producción y de fin de vida con el objeto de mitigar impactos ambientales negativos. Además, se estudia el desarrollo de un nuevo concepto del producto con la herramienta *The Lids Wheel, Van Hemel*, teniendo como idea principal reemplazar el poliestireno expandido por bio-plásticos.

Los análisis y recomendaciones convergen en transformar el poliestireno expandido (EPS) en un producto sostenible ambientalmente.

## Abstract

Ecodesign is a technique where the environmental impact is assessed during the life cycle of a product; it is necessary to study stages as extraction, manufacturing, distribution, use and disposal.

This method allowed to quantify the environmental impacts of each phase of the life cycle of expanded polystyrene and, in relation to the results, it concluded that this is a highly polluting product, so production strategies and end of life are established in order to mitigate negative environmental impacts. Besides, developing a new product concept with *The Lids Wheel, Van Hemel* tool was studied, with the main idea of replacing expanded polystyrene with bio-plastics.

The analysis and recommendations converge to transform the expanded polystyrene (EPS) in an environmentally sustainable product.

**Palabras clave:** ciclo de vida, impacto ambiental, ecodiseño, poliestireno expandido.

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Ambiental.

<sup>2</sup> Ingeniero Ambiental, magíster y docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental.

## Introducción

La sobreexplotación de recursos naturales es uno de los factores relevantes en la economía de numerosos países. Estas actividades, aunque entreguen aparentemente mejoras a las naciones, originan efectos negativos en las interacciones presentes en los ecosistemas. Países como Colombia postulan al petróleo como el principal producto de exportación y explotación y, aunque parezca paradójico, este sector ha sido de una u otra forma responsable de problemas de pobreza de este país (Arenas, 1994).

Mediante el estudio del ciclo de vida del poliestireno expandido, conocido en Colombia por la empresa fabricante con el nombre de “icopor”, que es un derivado de hidrocarburos de petróleo, resultante de la síntesis entre el etileno y el benceno, se pretende precisar efectos nocivos al medio ambiente.

El análisis del ciclo de vida del poliestireno permite tener una idea clara de los impactos reales

dados por solo una mínima fracción del sector de la industria petrolera. En el seguimiento de este estudio se realizan investigaciones y evaluaciones funcionales desde la perspectiva del desarrollo sostenible, que permitan encontrar una posible disminución de impacto en los procesos de producción, además de buscar integrar criterios ambientales para el diseño del producto con el fin de mejorar su comportamiento medioambiental.

## Metodología

En la primera fase del estudio se ponen en práctica los procedimientos estándares de la norma ISO 14040; por tanto, se realiza un análisis detallado del ciclo de vida del poliestireno expandido, el cual comprende las etapas de adquisición de materias primas, producción, uso y su disposición final (Würdinge, Wegener, 2000). La Tabla 1 establece el inventario de las entradas y salidas destacadas del producto.

Tabla 1  
Inventario de entradas y salidas del poliestireno expandido.

PROCESOS		
<b>Etapla 1. Exploración de pozos petroleros</b>		
Inventario	Descripción	Materiales
Simsigel	Generador de ondas sonoras superficiales	Explosivos
Geófonos	Receptor de ondas sonoras	
Equipos de computo	Energía eléctrica	
<b>Etapla 2. Excavación y extracción</b>		
Inventario	Descripción	
Bomba reguladora de presión	Inyección de agua, aire	Gases y químicos del <i>fracking</i>
<b>Etapla 3. recolección y refinería</b>		
Horno	Tempertura 400°C	Gasto energético
<b>Etapla 4. Obtención del etileno, benceno, etilbenceno y estireno.</b>		
Inventario	Descripción	
Horno de pirolisis	Requerimiento de elevadas temperaturas	
Catalizadores	Selenio y paladio	
Obtención del estireno		
Alquilación Friedel-Crafts	Benceno	
Oxidación (ETIL BENCENO) y separación del estireno	Óxidos de hierro	

PROCESOS		
<b>Etapa 5. Polimerización del poliestireno</b>		
Monómero de estireno	Exposición en el áreas industriales	
Iniciadores	Peróxidos	
Agente expansor	Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)	
Agente expansor B	Pentano	
<b>Etapa 6. Disposición</b>		
<b>Inventario</b>	<b>Descripción</b>	
Costales de polipropileno	Empacado	
Combustible	Transporte	
<b>Etapa 7. Poliestireno expandido EPS</b>		
<b>Inventario</b>	<b>Descripción</b>	
Caldera	Combustibles gaseosos	Energía
Agua	Vapor de agua	
Maquina compresora	Energía eléctrica	
Agua	Vapor de agua	
Cortadora	Obtención de bloques (energía)	

Fuente: los autores

Con el análisis del inventario se entregan observaciones cualitativas, comparando los aspectos ambientales con impactos como la disminución de recursos, afectación de la salud humana y cambios en los ecosistemas. Así mismo, se realiza la evaluación cuantitativa basada en la metodología del eco indicador '99; en esta etapa se realizó la clasificación de los impactos, con las mismas categorías estandarizadas por el método (Tabla 2).

Tabla 2  
Modelización.

Categoría	Abreviaturas
Daño en la salud humana (SH)	Dissability Life Years (DALY)
Calidad del ecosistema (CE)	Potentially Affected Fraction (PAF)
Recursos (R)	Potentially Affected Frction (PAF)

Fuente: CEDIC (s.f.).

Para la obtención de factores de caracterización (peso, energía y transporte), se llevó a cabo un estudio significativo de la literatura, con el fin de deducir los factores de multiplicación para el valor final de los milipuntos (unidad de medición cuantitativa de impacto ambiental), por cada una de las etapas. Esta metodología contiene criterios de carácter científico y por tanto los procedimientos son de confiabilidad. Por medio de los resultados y valores entregados

en los análisis de eco indicadores, se entregan distintas alternativas que permitan la disminución y optimización ambiental del producto en cada una de sus etapas. Las alternativas tienen como objeto la optimización de técnicas de producción y reducción del impacto ambiental como forma de verificación de factibilidad. Para la aplicación de las técnicas descritas, se realiza un estudio de mercado, mediante una matriz cualitativa que permite comparar aspectos económicos, tecnológicos, distribución y oferta, los cuales están apoyados por un estado de arte, para concluir con la técnicas y/o aplicaciones de mayor viabilidad (Navarro, 2008).

## Matriz de re-uso y rueda de LiDS

En la matriz de re-uso se evalúan los procesos indicados para el fin de vida de poliestireno expandido, con el fin de encontrar una reducción de este tipo de productos en los rellenos sanitarios. Solo se evaluó el “material”, por lo que no se tienen en consideración los empaques de distintas presentaciones existentes en el mercado.

La rueda estratégica del eco diseño (*The Lids Wheel, Van Hemel*), es una herramienta que permite comparar las evoluciones del producto al aplicar las alternativas de mejora durante el ciclo de vida (Orrego, 2012).

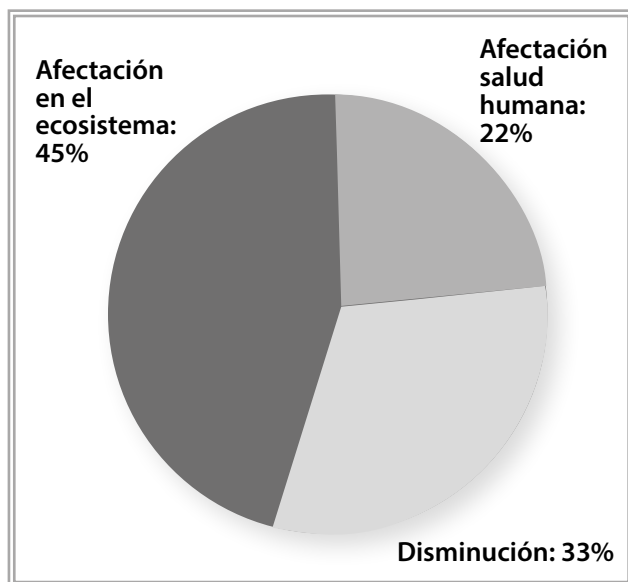
Las opciones de mejora a revisar, en su mayoría, pueden efectuarse a corto plazo, pero también se considera una a largo plazo determinada con el símbolo “@”, en donde se busca el desarrollo de un nuevo concepto del producto, con la finalidad de que las funciones de este se optimicen.

En relación con indicadores que permiten verificar resultados positivos, en cuanto a la disminución del impacto ambiental, se obtuvieron resultados mediante la reevaluación de las materias primas en cada una de las etapas en las que se recomendaron los cambios.

## Resultados y discusión

Dentro del análisis cualitativo se entrega la clasificación de los impactos por cada una de las materias entrantes y de algunas salidas en la totalidad de los procesos, lo que permite entregar porcentajes y resultados para las categorías de impacto negativo.

Gráfica 1. Cuantificación del impacto de mayor significancia numérica.



Fuente: elaborada por el autor.

La mayor afectación se evidencia en los cambios del ecosistema. Los aspectos correspondientes son uso de materias primas de polimerización de poliestireno y los aspectos relacionados a la etapa de transformación, uso y fin de vida (Tabla 1).

## Evaluación cuantitativa

La Tabla 3 muestra los resultados cuantitativos por cada una de las etapas. Según la metodología de eco indicador '99, el mayor impacto es dado por la sumatoria del agua entrante y saliente del sistema de producción. Adicionalmente, por uso de benceno y de agentes de expansión se obtienen también resultados significativos. En el uso y fin de vida del poliestireno expandido se tiene una alta afectación en PDF y PAF, pero no cuantifica dentro de la categoría de DALY.

Tabla 3  
Método Eco indicador '99.

MATERIAS	Partes por peso del producto	Kg de materias	Ecotoxicidad	Oncogénicas	Mutagénicas	Respirables	Acidificación	Eutrofización	Impacto en suelo	Lluvia ácida	GEI	DQO y DBO	Metales pesados	Milipuntos
Selenio	15	150	0.1	1			1	1						465
Paladio	15	150	0.1	1			1	1						465
Benceno	40	400		1		1					1			1200
Agua	20	200	1	1			1	1	1	1	1			1400
Óxidos de hierro	10	100				1	1	1	1	1				500
Monómeros de estireno	40	400	0.1	1	1									840
Agua	37.5	375	0.1	1	1			1	1			1		1913
Peróxidos	2.5	25	0.1				1	1		1				77.5
Hidroclo-rofluoro-carbonos (HCFC)	10	100	0.1	1	1	1				1	1			510
Pentano	10	100	0.1				1	1	1					310
Iniciadores	10	100	0.1				1	1		1				310
Agua	70	700	1	1			1	1	1	1	1			4900
Perlas de poliestireno expandido	30	300							1		1		1	900
EPS (Kg)	1000	1000							1					1000

Fuente: elaborada por el autor.

La Tabla 4 muestra las alternativas que se proponen para las mejoras en las etapas resultados de significancia en impactos ambientales. Las alternativas fueron evaluadas según lo descrito en el método. Se muestra que hay alta factibilidad económica, tecnológica y de mercado en las alternativas 1 y 4, por lo que son las que finalmente se recomiendan y se aplican para las evaluaciones de la primera etapa del estudio.

**Tabla 4**  
*Posibles alternativas de aplicación.*

Alternativa 1	Calderas, tubos de humo o piro tubulares. (Recirculación de vapor de agua sin tratamiento).
Alternativa 2	Calderas de tubos de agua o acuotubulares. (Recirculación de vapor de agua con tratamiento).
Alternativa 3	Fabricación de EPS, con un compuesto diferente del benceno.
Alternativa 4	Reciclaje mecánico.
Alternativa 5	Reciclaje químico.

Fuente: los autores

Se debe destacar que las opciones 2, 3 y 4 requieren de tecnologías adicionales y por tanto los costos de implementación son elevados, pero pueden ser alternativas potenciales en cuanto los estudios de carácter científico avancen y se pueda disponer del conjunto de técnicas para implementarlos.

## Matriz de re-uso y rueda de LiDS

Dentro de las recomendaciones para el uso y fin de vida del producto, se entrega la descripción de las formas óptimas en el manejo en la Tabla 5.

**Tabla 5**  
*Matriz de re-uso.*

Matriz de re-uso							
Material	Minimización de residuo	Reciclaje	Re-uso	Incineración	Compost	Producción de biogás	Relleno sanitario
Poliéstero expandido	D	A	C	E	E	E	D

Fuente: los autores

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Siendo "5" el mecanismo más indicado, se tiene que el reciclaje es la forma de manejo en el fin de vida para la minimización de impactos ambientales (MADVT, 2004).

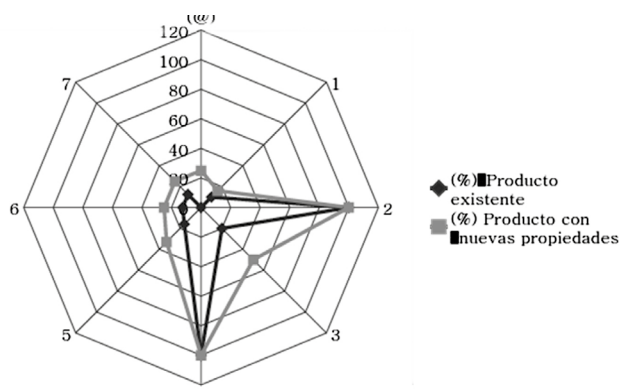
Para el análisis de estrategias y de las mejoras del producto, se entregan los porcentajes de mejora por cada uno de los ejes que componen la rueda, estos se presentan en la Tabla 6 y en la Gráfica 2.

**Tabla 6**  
*Comparación numérica. Rueda de Lids.*

Componentes del producto		Porcentajes de aplicación		
Niveles	Aplica	(%) Producto existente	(%) Producto con nuevas propiedades	
(@) Desarrollo de un nuevo concepto	Sí	0	25	
1 Selección de materiales de bajo impacto	Sí	10	16	
2 Reducción de uso de los materiales	No	100	100	
3 Técnicas de optimización de producción	Sí	20	50	
4 Optimización del sistema de distribución	No	100	100	
5 Reducción del impacto durante el uso	Sí	16	33	
6 Optimización de vida útil	No	12.5	25	
7 Optimización del sistema de fin de vida	Sí	12.5	25	

Fuente: los autores

**Gráfica 2. Rueda de LiDS.**



Fuente: los autores

Para la optimización de técnicas de producción se consideró la recirculación de agua en el momento de la extrusión. Además, con la implementación de reciclaje, se requiere de una menor cantidad de materia prima (perlas de poliestireno), de modo que se llegue a la optimización del proceso en un 50%.

La responsabilidad ambiental por parte de las industrias y de los grupos responsables se hacen de gran valor; es así que por medio del análisis del nivel 6 (Tabla 6) se entrega el porcentaje de mejora por la implementación del concepto de desarrollo sostenible para este tipo de empresas, en donde los factores y diseños logran la disminución de impacto ambiental (Rocha, 2011).

En la optimización de fin de vida, al implementar el reciclaje químico, se podrían entregar diferentes aplicaciones para el uso de poliestireno expandido reciclado, incluso utilizarse en empaques de alimentos, pero los procedimientos son costosos y requiere de aplicación de compuestos químicos. Por otro lado, con el reciclaje mecánico deben limitarse las aplicaciones del material, pues es solo óptimo en el uso de embalajes y

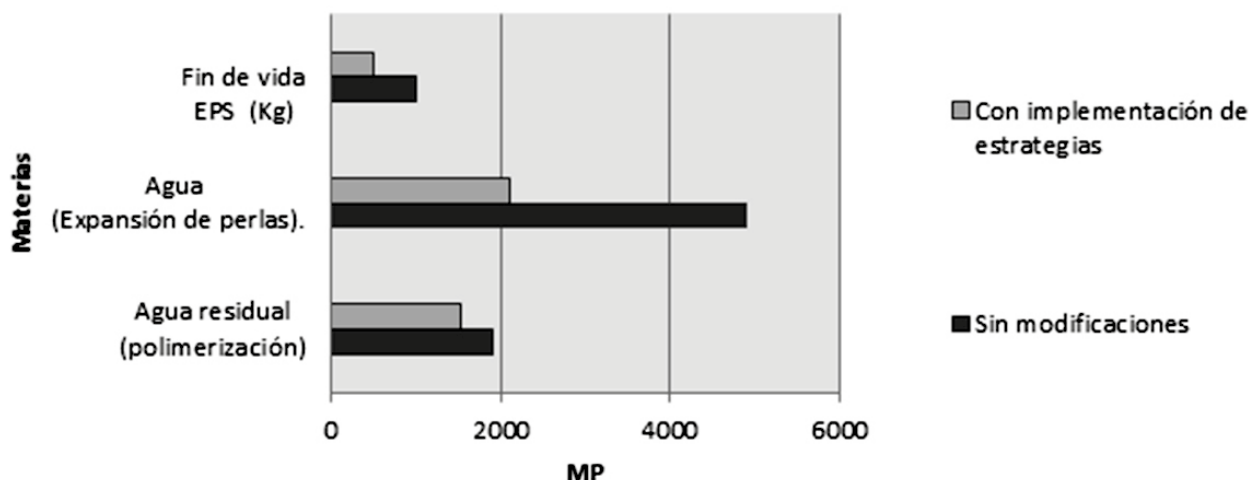
para aplicaciones en la construcción (AIMPLAS, 2008).

Para el desarrollo de un nuevo producto (@), se entregan alternativas tecnológicas con 'bioplásticos', que se obtienen de recursos renovables. La celulosa es el principal componente de las paredes celulares de las plantas, está formada por moléculas de glucosa, que establecen uniones entre los grupos OH, sus cadenas entregan rigidez y, por lo tanto, dan soporte estructural. Este material, por sus características, logra asemejar propiedades de algunos plásticos y entre ellos a las del poliestireno expandido (Pacheco, 2014). Las aplicaciones de los bioplásticos han sido exitosas en distintos materiales, como embalajes, pero la condición biodegradable impide que el uso sea por largo tiempo (Oshima, 2007).

### Reevaluación de milipuntos (ecoindicador '99)

Con base en las estrategias entregadas por la matriz de viabilidad, se realizan nuevas estimaciones de milipuntos. En la Gráfica 3 se presentan las comparaciones cuantitativas.

Gráfica 3. Reevaluación de milipuntos.



Fuente: los autores

## Conclusiones

Como primera medida, se establece la necesidad de cambiar los agentes expansores del poliestireno; por tanto, se requiere de un análisis de los compuestos como el pentano, capaces de expandir las perlas de poliestireno.

Dentro de las alternativas de viabilidad expuestas en el estudio se recomienda el reciclaje de EPS mediante métodos mecánicos, pues el reciclaje químico requiere de tecnologías muy costosas y, aunque permite reutilizar el EPS para alimentos, los costos son muy elevados. Por tanto, el uso de EPS reciclado se limita a la obtención de piezas requeridas en los trabajos de construcción.

Por otro lado, se determina que los mayores impactos se generan en las etapas de extracción, producción y fin de vida del poliestireno expandido.

Finalmente, se concluye que el producto no es amigable con el medio ambiente; por tanto, se recomienda que los usos de poliestireno en el mercado se limiten o se reemplacen por otros productos, como es el caso de empaques para frutas, en donde se puede implementar el uso de fibras.

## Referencias

- AIMPLAS. (2008). *Idoneidad del PET reciclado en contacto con alimentos*. Recuperado de: [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos\\_estudios\\_idi/uso\\_de\\_pet\\_informe\\_fase\\_1.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/archivos_estudios_idi/uso_de_pet_informe_fase_1.pdf)
- Arenas, F. & Sabatini, F. (1994). Pobreza y medio ambiente [I]: comunidades territoriales pobres y explotación de recursos naturales. *Ambiente y Desarrollo*, 3, pp. 36-42.
- CEDIC. (s.f.). *Análisis del ciclo de vida de instalaciones de agua potable*. Obtenido de file: <http://www.copperalliance.es/docs/librariesprovider13/resources/analisis-ciclo-vida-tubos-cobre-pdf.pdf?sfvrsn=0>
- [Ejemplo del análisis del ciclo de vida (LCA) en películas sueltas de embalaje de almidón y poliestireno]. (s.f.). Recuperado de: [http://www.oc-praktikum.de/nop/es/articles/pdf/LCAExample2\\_es.pdf](http://www.oc-praktikum.de/nop/es/articles/pdf/LCAExample2_es.pdf)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2004). *Sector plástico. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. Guías ambientales*. Recuperado de: [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Gu%C3%ADas%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Gu%C3%ADas%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf)
- Navarro, A. H. (2008). *Alternativas de empaque para galletas*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3622444>
- Oshima, T. (2007). Bio-plásticos los nuevos materiales. *El mundo natura*, 9. Recuperado de: <http://estaticos.elmundo.es/documentos/natura/julio07.pdf>
- Pacheco, G., Flores, N. & Rodríguez, R. (2014). Bioplásticos. *Biotecnología*, 18(2), pp.27-36. Recuperado de: [http://www.smbb.com.mx/revista/Revista\\_2014\\_2/bioplasticos.pdf](http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2014_2/bioplasticos.pdf)
- Resolución 1023/2005. Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. Bogotá, Colombia. 28 de julio de 2005. Recuperado de: <https://www.arlsura.com/index.php/resoluciones/177-resolucion-numero-1023-de-2005>
- Rocha, E. (2011). *Construcciones sostenibles*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3983370.pdf>
- Sanes, A. (2012). *El análisis de ciclo de vida (ACV) en el desarrollo sostenible: propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos*. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8875/1/905079.2012.pdf>