

Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial

Alternatives of low environmental impact for the recycling of the expanded polystyrene at the worldwide

Lizette Arthuz-López¹
Walter Pérez-Mora²

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas; (Colombia); correo: jenny.arthuz@yahoo.es

² Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; (Colombia); correo: whperez0@misena.edu.co

Recibido: 08-07-2018 Aceptado: 23-06-2019

Cómo citar: Arthuz-López, Lizette; Pérez-Mora, Walter (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador Técnico*, 83(2), 209-219. <https://doi.org/10.23850/22565035.1638>

Resumen

El artículo presenta una revisión bibliográfica sobre alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje de poliestireno expandido a nivel mundial, basado en el uso de recursos naturales y los impactos ambientales asociados a estos. El impacto ambiental de cada técnica se determinó por medio de la construcción de una matriz en Excel® donde se registró la frecuencia de empleo de: (I) técnica primaria, secundaria o terciaria, (II) los recursos naturales usados y (III) los compartimientos ambientales afectados. Se consultaron fuentes primarias que abordan el tema del tratamiento del poliestireno expandido a nivel mundial. Se encontró que las mejores técnicas para el reciclaje del poliestireno son la primaria y terciaria específicamente trituración manual y uso de solventes verdes como d-limoneno y p-cimeno, para dejar en últimas posiciones a los tratamientos secundario y terciario, métodos de aglutinamiento y generación de energía, respectivamente.

Palabras clave: d-limoneno; poliestireno expandido; residuos sólidos; reutilización; plásticos; tratamiento de residuos.

Abstract

The article presents a bibliographic review on alternatives of low environmental impact for the recycling of expanded polystyrene worldwide, based on the use of natural resources and the environmental impacts associated with them. The environmental impact of each technique was determined through the construction of an Excel matrix where the frequency of use of: (I) primary, secondary or tertiary techniques, (II) natural resources used and (III) environmental compartments affected. Primary sources that address the issue of expanded polystyrene treatment worldwide were consulted. It was found that the best techniques for the recycling of polystyrene are primary and tertiary specifically manual crushing and use of green solvents such as d-limonene and p-cymene, to leave the secondary and tertiary treatments in last positions, agglutination and generation methods of energy respectively.

Keywords: d-limonene; expanded polystyrene; solid waste; reuse plastics; waste treatment, treatment technique.

Introducción

El poliestireno expandido (EPS) es un material polimérico y espumado usado en diversas aplicaciones y sectores, entre ellos en el sector de la construcción, donde su función es aislar la temperatura y el sonido. Su mayor uso lo constituye la

producción de envases para comida y embalaje de diversos artefactos (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido [ANAPE], s.f.). El polímero es de baja densidad, liviano, proviene del petróleo y es de gran volumen, por tanto, es un residuo de alto valor, de fácil reciclaje y abundante (Arriola; Velásquez, 2013). Paradójicamente no se separa en la fuente para su reciclado, el porcentaje de recuperación del poliestireno expandido es apenas del 12 %, en relación con los demás residuos reciclables, como el papel y el vidrio, los cuales provienen de diferentes sectores industriales y domésticos (Arandes; Bilbao; López, 2004).

Los residuos poliméricos, incluyendo EPS, aportan 2.000 millones de toneladas de dióxido de carbono, equivalente al año en emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera (Rodríguez; Avellaneda; Zerda, 2014). De igual forma, el EPS es un residuo nocivo para el medio ambiente dado que no se degrada por su naturaleza inerte, asimismo, llega a compartimientos acuáticos en donde animales lo ingieren llenando su sistema digestivo de un plástico no digerible, lo que les produce muerte por inanición (Industry Alliance Packaging [IAP], 2009).

La preocupación ambiental por el poliestireno gira en torno a cuatro elementos fundamentales: (I) la degradación lenta y la ausencia de un sustituto; (II) la producción de residuos; (III) su fuente de generación es el petróleo, materia prima no renovable; y (IV) algunos de los insumos químicos utilizados para producirlos son nocivos para el ambiente (Téllez, 2012). Por otra parte, el EPS expandido contiene un tipo de sustancias tóxicas llamadas dioxinas, que provocan en los seres humanos problemas de reproducción, desarrollo y alteraciones en el sistema inmunitario, también pueden causar cáncer (Thorton, 2002), además de la afectación a la salud humana, el EPS genera diferentes impactos ambientales.

Dadas estas problemáticas, a nivel mundial se han considerado diversas alternativas para su manejo, dentro de ellas el reciclaje. Actualmente, se han empleado los siguientes tratamientos para el reciclaje del EPS: primario, secundario, terciario y cuaternario (Parra, 2010). El tratamiento primario consiste en someter a operaciones mecánicas el plástico para obtener un producto de similares características, un claro ejemplo es la trituración (Gaiker Research Alliance, 2007). El tratamiento secundario, consiste en someter el EPS a temperaturas altas de fusión y con ello obtener un plástico similar que ocupe menos espacio (Cadena; Quiroz, 2000). El reciclado terciario, o reciclado químico, persigue la transformación de este con el uso de solventes. Finalmente, el reciclado cuaternario consiste en la incineración para recuperar energía (García; Gracia; Duque; de Lucas; Rodríguez, 2009).

Por lo tanto, el objetivo de este artículo es realizar un análisis comparativo del impacto ambiental de las técnicas empleadas a nivel mundial para el reciclaje del poliestireno expandido, resaltando las de menor impacto ambiental.

Experiencias mundiales de los tratamientos para el reciclaje del poliestireno expandido

El reciclaje del poliestireno expandido (EPS) consiste en la reducción del tamaño del grano y disminución del gas que contiene, lo que permite disminuir su volumen. La viabilidad del reciclaje de EPS aumenta cada vez más dada la disminución de este residuo y el bajo impacto ambiental generado en el proceso de recuperación (Gaiker Research Alliance, 2007).

En cuanto a Europa y Estados Unidos el reciclaje de estos residuos se ha enfocado en dos alternativas principales: el uso de energía, en el cual se incineran los residuos y el reciclado mecánico en donde se trituran y compactan (Betancourt, 2015). Sin embargo, argumentos ambientales en cuanto a las emisiones tóxicas están construyendo una resistencia pública contra el proceso de incineración. Por su parte, el reciclado mecánico, a menudo resulta más costoso que el plástico virgen. Por lo tanto, es necesario que otros esquemas de procesamiento sean explorados para reducir el costo de los dos procesos de reciclaje (Rojas, 2014).

En Turquía, un tratamiento innovador del EPS es la disolución con disolventes adecuados, con el fin de conseguir una reducción de volumen de más de cien veces (sin degradación de las cadenas de polímero), pues, si la disolución se desarrolla en la fuente de producción de residuo el transporte es más eficiente que en el reciclaje de sistema convencional (Samper; Ferrandiz; López, 2008). De esta forma, el EPS solubilizado en diferentes disolventes cumple un papel importante en el reciclaje de poliestireno y se constituye como una alternativa diferente a la incineración y el reciclado mecánico, ya que es el más barato y menos contaminante (Jaramillo; Zapata, 2008).

En Colombia, la empresa Natura junto con la Universidad de Antioquia son las pioneras en la gestión de los residuos de poliestireno. El tratamiento se realiza principalmente por métodos pirolíticos, lo que ha traído consigo desventajas como el empleo de exceso de energía, emisiones atmosféricas, producción de calor y producción de subproductos, aun sin un destino final en el mercado (García *et al.*, 2009).

La Fundación Verde Natura bajo el lema “reciclamos EPS para un mundo mejor”, es la única fundación colombiana sin ánimo de lucro, que aporta al ambiente una alternativa de reciclaje del poliestireno expandido (EPS) y poliestireno extruido (XPS por sus siglas en inglés) que contribuye a minimizar el daño al medio ambiente disminuyendo estos desperdicios. Para ello, han desarrollado líneas de reciclaje directamente con los actores involucrados en los procesos del plástico desde su producción hasta su disposición final; allí reciben y acopian los residuos para tratarlos y finalmente hacer una resina de características similares a los plásticos originales, aumentando el ciclo de vida de estos materiales (Natura, 2019).

Metodología

A nivel mundial, se seleccionaron los países que investigan sobre la problemática y gestión del poliestireno expandido se consultaron 50 documentos. Se sistematizó la información de las alternativas de reciclaje empleadas por los autores de 26 artículos y 4 tesis y los países en los que se realizó dicha investigación (ver Tabla 1). De igual modo, en los mismos documentos, se escogieron las categorías de análisis de los documentos por tipo de tratamiento (primario, secundario, terciario y cuaternario), el uso de recursos (agua, energía y humano) y el impacto ambiental resultado del uso de recursos (vertimientos, emisiones y contaminación de suelos). Finalmente, para el estudio de las categorías de análisis: tipo de técnica empleada, uso de recursos e impacto ambiental generado, se tomó como base la sistematización de la información consultada, tales como las referencias bibliográficas mencionadas a continuación y la revisión de los 20 autores restantes dieron cuerpo al documento.

Tabla 1.
Fuente de la Información sistematizada en la revisión

Autor y año	Tipo de documento	País	Tipo de tratamiento empleado
(García <i>et al.</i> , 2009)	artículo	Alemania	Primario y terciario
(Saltos; Chango; Aldás; Quiroz, 2015)	artículo		Primario y terciario
(López <i>et al.</i> , 2014)	artículo	Brasil	Primario
(Carrillo; Caamal; Couoh; Gamboa; Cruz, 2014)	artículo		Primario
(Aminudin; Fadhil; Mohamad; Noor; Iwao, 2011)	artículo		Terciario
(Samper; Ferrandiz; López, 2008)	artículo		Terciario
(Ehrig, 1992)	artículo		Primario y terciario
(Noguchi; Miyashita; Inagaki; Watanabe, 1998)	artículo	Colombia	Primario, secundario y terciario
(Hattori <i>et al.</i> , 2008)	artículo		Primario y terciario
(Quintero, 2013a)	artículo		Primario y terciario
(Dickens, 1980)	artículo	Ecuador	Terciario

Autor y año	Tipo de documento	País	Tipo de tratamiento empleado
(Vaikathusseril-Sekharan; Thattekatt-Abraham; Thomas-Thachil, 2012)	artículo	España	Terciario
(Shin, 2006)	artículo		Terciario
(Grote, 1999)	artículo	Estados Unidos	Terciario
(Agoua; Allognon-Houessou; Adjovi; Togbedji, 2013)	artículo		Primario y secundario
(Gutiérrez; Rodríguez; Gracia; de Lucas; García, 2013)	artículo		Terciario
(Rajaeifar; Abdi; Tabatabaei, 2017)	artículo		Terciario
(Chaukura; Gwenzu; Bunhu; Ruziwa; Pumure, 2016)	artículo	India	Primario y terciario
(Bicer; Kar, 2017)	artículo		Primario y secundario
(Brandão; De Castro, 2015)	artículo	India	Primario
(Ghambari; Reyes-Gallardo; Lucena; Saraji; Cárdenas, 2016)	artículo		Primario y terciario
(Shah; Jan; Adnan; Zada, 2015)	artículo		Terciario
(Agoua; Allognon-Houessou; Adjovi; Togbedji, 2013)	artículo	Japón	Primario
(Hattori, 2015)	artículo		Primario y terciario
(Schmidt; Cioffi; Voorwald; Silveira, 2011)	artículo		Terciario
(Cjuno; Arroyo; Ale; Pacheco, 2005)	artículo	Korea	Terciario
(Quintero, 2013b)	Tesis	México	Primario y terciario
(Torres, 2004)	Tesis	Perú	Primario y terciario
(Arcila; Miranda, 2015)	Tesis		Terciario
(Benítez; Vélez, 2013)	Tesis	Suiza	Terciario

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Países investigadores reciclaje EPS

De acuerdo con lo consultado, los países que escriben con mayor frecuencia sobre la temática son Colombia, Estados Unidos e India, como se puede observar en la Figura 1, lo anterior, dado por sus modelos de producción, problemática con los residuos de poliestireno expandido y su creciente preocupación por la calidad ambiental de sus países (Jaramillo; Zapata, 2008).

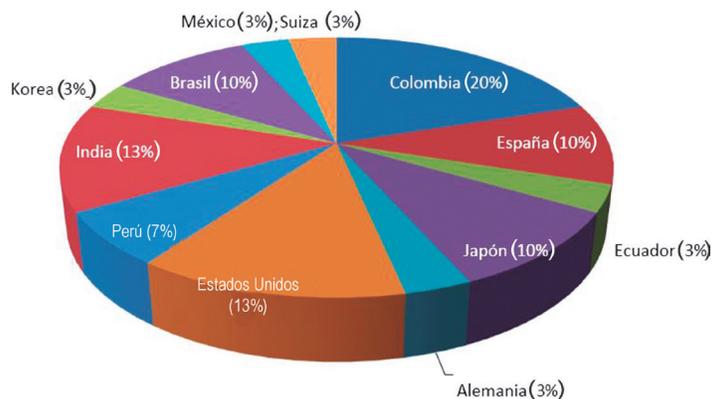


Figura 1. Porcentaje de participación de países en investigación sobre reciclaje de EPS. Fuente: elaboración propia.

Alternativas de tratamiento del EPS

Se identificaron las alternativas de tratamiento y se clasificaron en primario, secundario, terciario y cuaternario, todas ellas llevan al reciclaje del material y, por tanto, la prolongación de su vida útil (García *et al.*, 2009). En la Tabla 2 se observa que las técnicas más usadas son la terciaria con el d-limoneno y la primaria con la trituración mecánica y manual, esto se debe a la sostenibilidad y facilidad de implementación de las técnicas (Brandup; Bittner; Michaeli; Menges, 1996).

Tabla 2.
Técnicas de tratamiento en la revisión

Tipo de tratamiento	Técnica	Técnicas en la revisión (%)
Primario	Manual	14,29
	Mecánico	16,07
Secundario	Aglutinamiento	7,14
	Tolueno	12,50
Terciario	Benceno	7,14
	Cloroformo	7,14
	Tetrahidrofurano	5,36
	D-limoneno	23,21
	P-Cimeno	1,79
Cuaternario	Producción de energía	5,36

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al tratamiento primario, los envases y embalajes resultado del posconsumo pueden reutilizarse por medio de la trituración, pues facilita la eliminación del espumado y su posterior utilización en nuevos productos, ya que este material no pierde las características químicas iniciales (Hattori; Shikata; Maekawa, 2010). Dentro de otros usos, los restos de EPS una vez triturados y deshechos se emplean para ser combinados con material edáfico y de esta forma, mejorar su drenaje y aireación. También pueden destinarse a la aireación de los residuos orgánicos compostables constituyendo una opción válida para la obtención del bioabono. De igual manera, los residuos de EPS tras su molido a diferentes tamaños de grano, se mezclan con materiales de construcción, lo que le da al material propiedades de ligereza y porosidad mayor (Arcila; Miranda, 2015).

El tratamiento secundario refiere el proceso que consiste en calentar el material, aglutinarlo y formar un bloque de este mismo. Al unir el material a favor del calor se minimiza el volumen de este mismo, pero consume bastante energía el proceso (Cempre Uruguay, 1998).

El reciclaje terciario o químico se basa en el uso de solventes para solubilizar el material, de acuerdo con su característica de polaridad usando un solvente con la misma característica (Scheuermann, 1989). Según García *et al.*, (2009), el poliestireno es un compuesto apolar, con lo cual, para el proceso de reciclaje terciario, se debe usar un solvente apolar para llegar a formar soluciones, dando buenas características y llegando a soluciones saturadas, garantizando la disolución total del material.

Por su parte, el reciclado cuaternario consiste en la incineración del material con el fin de generar energía, proceso que es muy criticado socialmente por los problemas ambientales que puede generar. Este método es interesante desde el punto de vista de recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales tienen como característica un elevado poder calorífico (polietileno, 43 MJ/kg; polipropileno, 44 MJ/kg; poliestireno, 40 MJ/kg; cloruro de polivinilo PVC, 20 MJ/kg, entre otros) (NOVA Chemicals Corporation., 2005). Este proceso de combustión debe estar sujeto a fuertes controles de emisiones para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos que podrían contribuir negativamente al medio

ambiente y a la salud humana (como cloruro de hidrógeno de la combustión del PVC) (Arandes *et al.*, 2004).

Impacto ambiental de las alternativas de tratamiento

Entre un 5 % y un 7 % de la extracción mundial de petróleo se destina a la producción de plásticos. Se estima que para producir 1 kg de plástico es necesario el uso de 2 kg de petróleo. El sector industrial del plástico es versátil y tiene un alto desarrollo tecnológico, características por las cuales el sector crece en la economía en porcentajes que se estiman en un 4 % anualmente, creando productos que son utilizados en envases, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo (Betancourt; Solano, 2016). En el 2011, la producción mundial del EPS aumentó en 10 millones de toneladas hasta alcanzar casi 280 millones de toneladas (Arandes *et al.*, 2004).

Los residuos de este plástico tienen implicaciones ambientales significativas y hacen parte de una problemática de gran impacto y escala, la preocupación ambiental es creciente y gira en torno a su dificultad para degradarse, a su volumen y el problema que ha representado su reciclaje (Téllez, 2012).

Para la recuperación del residuo se han implementado varias técnicas que traen consigo el uso de recursos como agua, energía y el humano, tal como se evidencia en la Figura 2. Para su estimación se sistematizó la información integrada en una matriz de Excel, donde se recogió una muestra de las categorías de análisis mencionadas por cada técnica empleada, de tal modo que cada documento que hiciera uso de algunas de las técnicas de tratamiento, uso de recursos e impacto ambiental asociado, tenía un aporte de una unidad en los mismos.

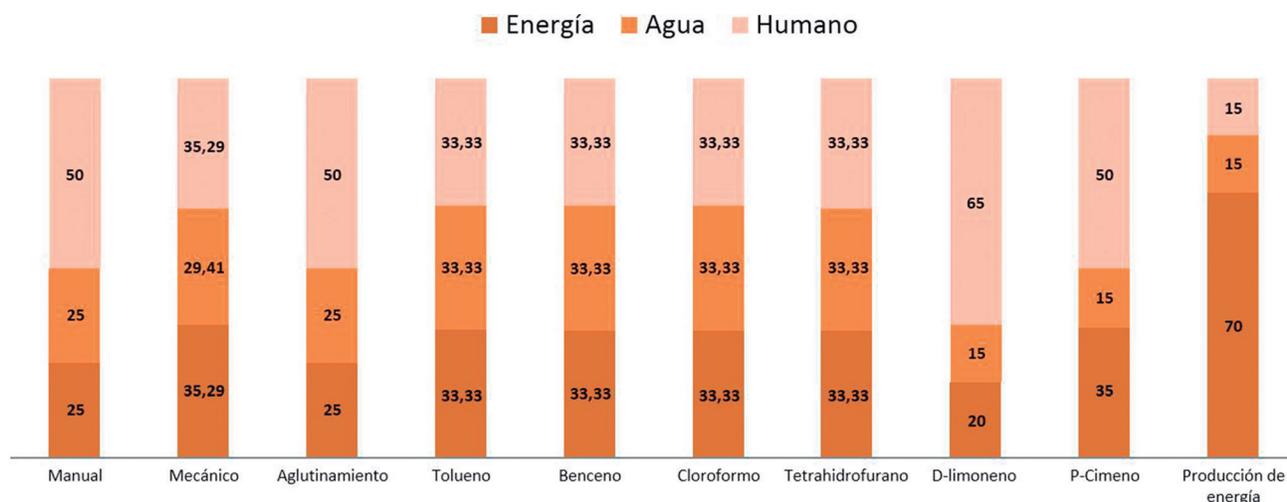


Figura 2. Porcentaje uso de recursos por categoría de análisis técnica empleada. Fuente: elaboración propia.

En la mayoría de las técnicas se usan los recursos de manera homogénea a excepción del tratamiento con d-limoneno que usa mayormente el recurso humano y en baja proporción agua y energía, caso similar ocurre con el p-cimeno. Por otro lado, paradójicamente, la técnica de producción de energía es la que más energía emplea para su generación (Urrea, 2012).

Resultado del uso de recursos se tiene el impacto a los compartimientos ambientales, expresado en su uso. Cuando se hace uso de energía, habrá emisiones atmosféricas; de agua, habrá vertimientos y con respecto a los suelos, habrá perjuicio sobre los mismos. En la medida en que se use mayoritariamente un recurso, su compartimiento ambiental se verá afectado (Gutiérrez *et al.*, 2013). Como se observa en la Figura 3, las técnicas tienen un uso de compartimientos ambientales homogéneo, de acuerdo con el recurso.

Caso contrario sucede con el solvente d-limoneno y p-cimeno, los cuales, fruto de su implementación para el reciclado del poliestireno, tienen la generación de vertimientos dado al uso de agua, caso similar a la técnica de producción de energía. La mejor alternativa es la técnica que haya sido empleada con mayor frecuencia, la que menos recursos emplee y, por tanto, menos afectación a los compartimientos ambientales tenga involucrados.

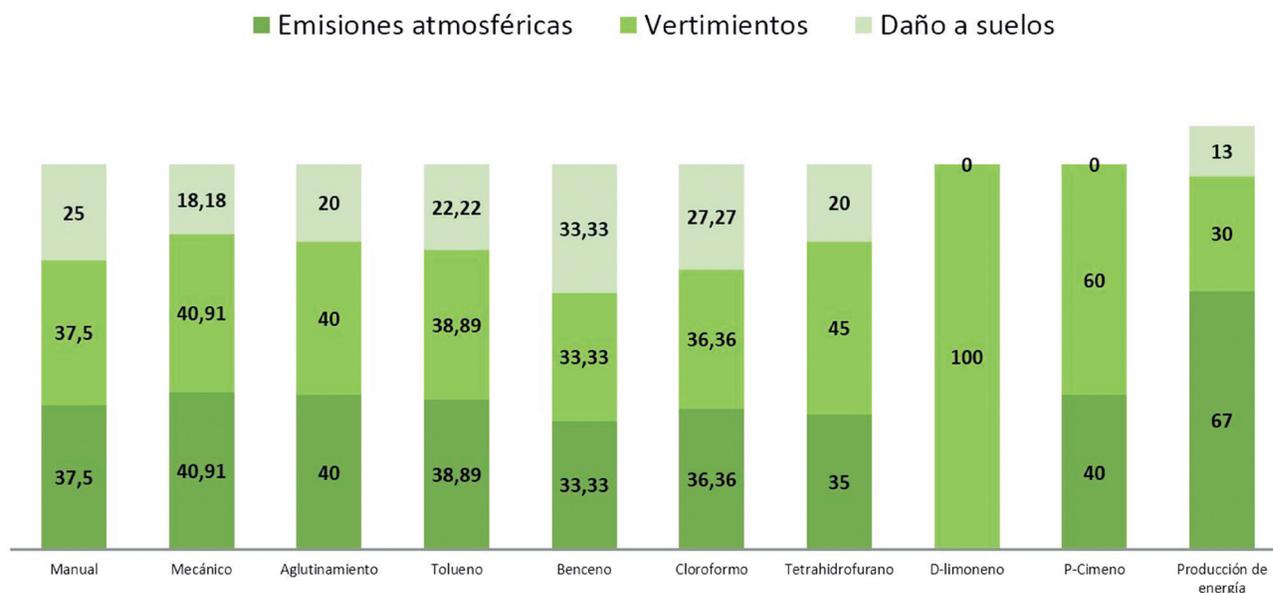


Figura 3. Porcentaje uso de compartimentos ambientales por categoría de análisis técnica empleada. Fuente: elaboración propia.

Conclusión

A partir de la anterior revisión, se puede concluir que existen dos alternativas de bajo impacto ambiental relevantes para el reciclaje del poliestireno: la primaria y terciaria. A partir de la trituración se obtiene un material que conserva las características químicas iniciales, pero sin agente expansor, es decir, sin espumado, por lo que ocupará un menor volumen que el material sin tratamiento, sin embargo, esta técnica emplea bastante energía; la trituración manual permite reducir el consumo de energía y por otro lado brinda la oportunidad de ofrecer empleo como alternativa a la trituración tradicional. Cuando se emplean solventes- reciclaje terciario, en particular el d-limoneno y el p-cimeno (solventes verdes), el EPS aumenta su densidad con lo cual reduce su volumen y se obtiene una resina apta para aplicaciones, como adhesivos, pinturas y recubrimientos aislantes y con agradable olor y bajo espumado, lo cual es ideal como estrategia de su recuperación en procesos de reciclaje, mitigando su impacto ambiental y aumentando su capacidad de uso con proyección de aprovechamiento en rellenos sanitarios. Los solventes no generan emisiones, vapores o afectación al medio ambiente, además, es posible recuperarlo por medio de recirculación de este mismo.

Referencias

- Agoua, Eusèbe; Allognon-Houessou, Elisabeth; Adjovi, Edmond; Togbedji, Bovis (2013). Thermal conductivity of composites made of wastes of wood and expanded polystyrene. *Construction and Building Materials*, 41, 557-562.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.016>
- Aminudin, Eeydzah; Fadhil, Mohd; Mohamad, Zurina; Noor, Zainura; Iwao, Kenzo (2011). A review on recycled expanded polystyrene waste as potential thermal reduction in building materials. In *International Conference on Environment and Industrial Innovation*. IPCBEE.
- Arandes, José; Bilbao, Javier; López, Danilo (2004). Reciclado de Residuos Plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.

- Arcila, Isabel; Miranda, Juliana (2015). *Evaluación de la producción de pintura a partir de los residuos de poliestireno expandido utilizando un solvente amigable con el ambiente* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Arriola, Enma; Velásquez, Fidel (2013). *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido [EPS]* (tesis de pregrado). Universidad del Salvador, El Salvador.
- Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. (2015). ANAPE. Recuperado de: <http://www.anape.es/>
- Benítez, Ismael; Vélez, Jorge (2013). *Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Betancourt, Daylin (2015). *Aprovechamiento del poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa a la fibra de vidrio en el proceso de producción de autopartes en la empresa ventiladores GBA* (tesis de maestría). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
- Betancourt, Daylin; Solano, Johanna (2016). Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes. *Luna Azul*, 43(2), 286–310.
<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.13>
- Bicer, Ayse; Kar, Filiz (2017). Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth. *Thermal Science and Engineering Progress*, 1, 59-65.
<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.02.008>
- Brandão, Carolina; De Castro, Paula (2015). Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental. *IV Seminario Nacional de Construcciones Sustentables*, 1-10.
- Brandup, J.; Bittner, M.; Michaeli, W.; Menges, G. (1996). *Recycling and Recovery of Plastics*. USA: Hanger.
- Cadena, Francisco; Quiroz, Francisco (2000). *Manual de reciclaje de plásticos*. Quito: Ed. Quito A & B Editores.
- Carrillo, J.; Caamal, J.; Couoh, J.; Gamboa, R.; Cruz, R. (2014). Aprovechamiento de Nuevos Productos en Base a Poliestireno Expandido. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, 15-20.
- Cempre Uruguay. (Ed.). (1998). *Residuos Sólidos Urbanos, Manual de Gestión Integral*. Recuperado de: http://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/capitulo_1_y_capitulo_2.pdf
- Chaukura, Nhamo; Gwenzi, Willis; Bunhu, Tavengwa; Ruziwa, Deborah; Pumure, Innocent (2016). Potential uses and value-added products derived from waste polystyrene in developing countries: a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 157-165.
- Cjuno, Américo; Arroyo, Juan; Ale, Neptalí; Pacheco, Edda; Costilla; Martín; Cubas, Roger (2018). Síntesis de un intercambiador catiónico a partir de poliestireno comercial/ residual. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 8(1), 3-10.
- Dickens, Brian (1980). Thermal degradation and oxidation of polystyrene studied by factor-jump thermogravimetry. *Polymer Degradation and Stability*, 2(4), 249-268.
[https://doi:10.1016/0141-3910\(80\)90020-8](https://doi:10.1016/0141-3910(80)90020-8)
- Ehrig, J. (1992). *Plastics recycling products and processes*. Munich: Hanser Publishers.
<https://doi.org/10.1002/pi.4990300329>

- Gaiker Research Alliance. (2007). *Reciclado de materiales: Perspectivas, Tecnologías y Oportunidades*. Recuperado de:
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14508413/reciclado-de-materiales-perspectivas-tecnologias-y-bizkaia-21>
- García, María; Gracia, Ignacio; Duque, Gema; de Lucas, Antonio; Rodríguez, Juan (2009). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste management*, 29(6), 1814-1818.
- Ghambari, H.; Reyes-Gallardo, E.; Lucena, R.; Saraji, M.; Cárdenas, S. (2016). Recycling polymer residues to synthesize magnetic nanocomposites for dispersive micro-solid phase extraction. *Talanta*, 1(170), 451-456.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.04.026>
- Grote, Z. (1999). *Estudo do uso do EPS na construção civil: uma opção para a conservação de energia* (tesis de pregrado). Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil.
- Gutiérrez, C.; Rodríguez, J. F.; Gracia, I.; De Lucas, A.; García, M. T. (2013). Development of a strategy for the foaming of polystyrene dissolutions in scCO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 76, 126-134.
- Hattori, Kazuyuki (2015). Recycling of expanded polystyrene using natural solvents. In *Recycling Materials Based on Environmentally Friendly Techniques*. IntechOpen.
- Hattori, Kazuyuki; Naito, Satofumi; Yamauchi, Kenji; Nakatani, Hisayuki; Yoshida, Takashi; Saito, Shingo; Aoyama, Masakazu; Miyakoshi, Tetsuo (2008). Solubilization of polystyrene into monoterpenes. *Advances in Polymer Technology Journal of the Polymer Processing Institute*, 27 (1), 35-39.
- Hattori, Kazuyuki; Shikata, Sota; Maekawa, Ryo; Aoyama, Masakazu (2010). Dissolution of polystyrene into p-cymene and related substances in tree leaf oils. *Journal of Wood Science*, 56(2), 169-171.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.03.042>
- Industry Alliance Packaging (2009), IAP. *Expanded Polystyrene Packaging Environmental Profile Analysis*. Recuperado de:
http://www.epspackaging.org/images/stories/EPS_Environmental_Profile_Analysis-lores.pdf
- Jaramillo, Gladys; Zapata, Liliana (2008). *Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia* (tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- López, Daniela; Rhenals, Paula; Tangarife, María; Vega, Katherine; Rendón, Leidy; Vélez, Yesid (2014). Tratamiento de residuos de poliestireno expandido utilizando solventes verdes. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(1), 1-9.
- Natura (26 de marzo de 2019). *Fundación Verde Natura*. Recuperado de:
<http://fundacionverdenatura.org/>
- Noguchi, Tsutomu; Miyashita, Mayumi; Inagak, Yasuhito; Watanabe, Haruo (1998). A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. Part 1. A new recycling technique. *Packaging Technology and Science*, 11(1), 19-29.
- NOVA Chemicals Corporation. (2005). *Guía de seguridad de Almacenamiento y manejo del EPS*. Recuperado de
http://www.novachem.com/Product%20Documents/DYLITE-EPS_Guide_AMER_ES.pdf

- Parra, Federico (2010). Propuesta de análisis de la política pública afín al manejo integral de residuos sólidos y su impacto en la población. En Toro, C.; Marquardt, B. (Ed.), *Quince Años de la Política Ambiental en Colombia* (133-162). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Quintero, Carlos (2013a). *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, Colombia.
- Quintero, Carlos (2013b). Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios. *Informador Técnico*, 79 (2), 81-84.
- Rajaeifar, Mohammad; Abdi, Reza; Tabatabaei, Meisam (2017). Expanded polystyrene waste application for improving biodiesel environmental performance parameters from life cycle assessment point of view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 278-298.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.032>
- Rodríguez, Neny; Avellaneda, Luis; Zerda, Diego (2014). *Estudio de la factibilidad para la recolección, acopio, molido y comercialización de PET (polietileno tereftalato) en el municipio de Soacha* (tesis de pregrado). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, Colombia.
- Rojas, José (2014). Residuos sólidos y calentamiento global - parte 1. *Éxito Empresarial*, 254, 1-3.
- Saltos, P.; Chango, I.; Aldás, M.; Quiroz, F. (2015). Reciclaje de Poliestireno Expandido por el Método de Disolución Precipitación. *Revista Politécnica*, 36(2), 80- 88.
- Samper, M. M.; Ferrandiz, S.; López, J. (2008). Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido. En *I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Scheuermann, Hans (1989). Parámetros importantes en el proceso de extrusión: su medición y significado para la calidad del producto. *Informador Técnico*, 41, 1-10.
<https://doi.org/10.23850/22565035.1238>
- Schmidt, P.; Cioffi, M.; Voorwald, H.; Silveira, J. L. (2011). Flexural test on recycled polystyrene. *Procedia Engineering*, 10, 930-935.
- Shah, Jasmin; Jan, Muhammad; Adnan; Zada, Muhammad (2015). Effect of carbon supported metals on the tertiary recycling of waste expanded polystyrene. *Process Safety and Environmental Protection*, 96, 149-155.
- Shin, C. (2006). Filtration application from recycled expanded polystyrene. *Journal of colloid and interface science*, 302(1), 267-271.
- Téllez, Alejandra (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: Una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Thornton, Joe (2002). *Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride Building Materials*. Washington, D.C.: Healthy Building Network.
- Torres, Orlando (2004). *Reciclaje de la espuma de poliestireno mediante el uso de d-limoneno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Urrea, Alejandra (2012). *Diseño de un sistema de descanso a partir del reproceso del poliestireno expandido industrial desechado* (tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Vaikathusseril-Sekharan Renju; Thattekatt-Abraham, Beena; Thomas-Thachil, Eby (2012). Utilization of waste expanded polystyrene: Blends with silica-filled natural rubber. *Materials & Design*, 40, 221-228.