

# Utilización de poliestireno expandido para la obtención de nuevos recubrimientos

## Use of expanded polystyrene in the development of new coatings

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

### **Paula C. Garnero**

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Fac. Reg. San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.  
pgarnero@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

### **Rocío Boriglio**

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Fac. Reg. San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.  
rocioboriglio@gmail.com

### **Giuliana Marchiaro**

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Fac. Reg. San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.  
giuliana.marchiaro14@gmail.com

### **Matías A. Raspo**

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Fac. Reg. San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.  
mraspo@sanfrancisco.utn.edu.ar

### **María Eugenia Taverna**

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Fac. Reg. San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.  
INTEC (UNL-CONICET)  
metaverna@santafe-conicet.gov.ar

### **Alfonsina E. Andreatta**

Ingeniería de Procesos Sustentables, UTN Fac. Reg. San Francisco (2400), San Francisco, Argentina.  
CONICET (Cba, Argentina)  
aandreatta@sanfrancisco.utn.edu.ar

## **Resumen**

El cuidado del medio ambiente se ha convertido en una preocupación de la sociedad debido al incremento de los niveles de contaminación en los últimos años. Conceptos tales como economía circular, sustentabilidad y sostenibilidad han cobrado vital importancia. En ese sentido, los residuos deberían poder aprovecharse en una segunda cadena de valor bajo los lineamientos de economía circular. El poliestireno expandido es uno de los polímeros sintéticos que más se produce en el mundo debido a su versatilidad. Contiene un 98 % de aire y un 2 % de poliestireno, por lo tanto, ocupa un gran espacio en vertederos exhibiendo implicaciones ambientales significativas. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de recubrimientos basados en poliestireno expandido utilizando solventes verdes. Los principales resultados muestran que es posible obtener recubrimientos basados en poliestireno expandido recuperado y aceite esencial de naranjas con excelentes propiedades en cuanto a aspecto, tiempo de secado e hidrofobicidad.

**Palabras clave:** cuidado del medio ambiente; economía circular; poliestireno expandido; reciclaje

## Abstract

Caring for the environment has become a concern for society due to increasing levels of pollution in recent years. Concepts such as circular economy, sustainability and sustainability have gained vital importance. In that sense, waste should be able to take advantage of a second value chain under the guidelines of circular economy. Expanded polystyrene is one of the most widely produced non-renewable polymer in the world due to its versatility. It contains 98 % air and 2 % polystyrene and therefore takes up a large amount of landfill space with significant environmental implications. The aim of this work is to develop coatings based on expanded polystyrene using green solvents. The main results show that it is possible to obtain coatings based on recovered expanded polystyrene and essential oil from oranges with excellent properties in terms of appearance, drying time and hydrophobicity.

**Keywords:** environmental care; circular economy; expanded polystyrene; recycling

## Introducción

Actualmente, la sociedad está preocupada por el cuidado del medio ambiente debido a la gran contaminación producida por la generación de residuos sólidos. Por esta razón, conceptos como la economía circular, la sustentabilidad y la sostenibilidad han ganado relevancia crucial. Según la economía circular, es posible utilizar los desechos y sobre todo plásticos, para generar una segunda cadena de valor (Benessere *et al.*, 2019; Dan and Trofimova, 2021).

La producción de plásticos representa entre un 5 % y un 7 % de la extracción mundial de petróleo. Se estima que dos kilogramos de petróleo son utilizados en la producción de un kilogramo de plástico. El crecimiento económico del sector industrial del plástico es aproximadamente del 4% anual debido a su versatilidad y desarrollo tecnológico. Este sector produce productos que se utilizan en envases, hogares, ropa y otros bienes de consumo (Arthuz-López y Pérez-Mora, 2019).

El poliestireno expandido (EPS) es un polímero sintético no renovable que se produce a partir de la polimerización del estireno. En 2016, la producción mundial de poliestireno (PS) y EPS rondaba el 14,7 y 6,6 millón de toneladas métricas por año (Dan *et al.*, 2021). El EPS está compuesto por un 98 % de aire y un 2 % de PS. Las características principales de este material, como su baja densidad, su capacidad aislante, su capacidad de producirse a bajo costo y su alta resistencia a los microorganismos, lo convierten en un material muy versátil que puede usarse en una variedad de aplicaciones, como material descartable, material de empaque o placas de construcción. Sin embargo, al no ser biodegradable, no desaparece del medio ambiente (Arthuz-López y Pérez-Mora, 2019).

El PS tanto expandido como tradicional es un polímero de naturaleza reciclable. Actualmente a nivel mundial, se generan alrededor de 40 a 50 kg/persona de residuos de PS, que hacen necesario su aprovechamiento en nuevos productos o materiales (Dan, *et al.*, 2021). Una metodología para el reciclaje de EPS es su disolución en solventes orgánicos, resolviendo así el problema de baja densidad al lograr una reducción de volumen de más de 100 veces. Sin embargo, este sigue siendo un proceso caro y no amigable con el medio ambiente. Los solventes más comúnmente utilizados son tóxicos (tolueno, xileno, benceno, cloroformo, acetona, ciclohexano, acetato de butilo, acetato de etilo y metil cetona) (García *et al.*, 2009).

En ese sentido, el limoneno, componente principal de los aceites esenciales (AE) que se encuentran en las frutas cítricas, es un solvente natural extraído de forma comercial mediante extracción por arrastre de vapor. El limoneno disuelve las mismas cantidades de residuos de EPS como algunos solventes orgánicos, por lo tanto, es una alternativa prometedora y amigable con el medio ambiente para el reciclaje del EPS (Gil-Jasso, *et al.*, 2019).

En este trabajo se presenta un método simple y económico para reciclar EPS, usando AE de naranja obtenido a partir de sus cáscaras para disolverlo. En ese sentido, se realizó la caracterización del EPS y del AE por técnicas cromatográficas. Luego, se prepararon recubrimientos en diferentes proporciones EPS/AE, a los que se le evaluaron propiedades tales como aspecto, tiempo de secado e hidrofobicidad. Estos resultados se compararon con valores presentes en la bibliografía para recubrimientos comerciales.

## Desarrollo

### a) Materiales utilizados

Se utilizó EPS comercial de densidad conocida (20 g/dm<sup>3</sup>) y AE de naranja obtenido en el laboratorio por arrastre con vapor de agua en un equipo extractor Marca Figmay.

Para el EPS, se determinó la masa molar media en peso por cromatografía de exclusión por tamaño (SEC). A tales efectos, se empleó un cromatógrafo líquido marca Waters 717 plus, compuesto por una bomba modelo binaria 1525, columnas de Styragel HR 4E (7,8×300mm) con un detector de índice de refracción diferencial (modelo 2414). Se empleó Tetrahidrofurano (THF) como fase móvil y un caudal de 1 mL/min. La temperatura del sistema fue de 25 °C. El volumen de las muestras disueltas en THF fue de 0,25 ml con una concentración nominal de 1 mg/ml. Antes de la inyección las muestras fueron filtradas en filtros de 0,22 µm. Para la calibración universal se emplearon patrones de PS SHODEX SM-105 (Lote 90601, certificado por Showa Denko K. K.) de masa molar de pico de 1200, 3070, 7210, 19600, 55100, 275000, 133000 y 666000 g/mol.

Los componentes del AE se determinaron por cromatografía gaseosa utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu GCMS-QP2020 NX acoplado a un detector de espectrometría de masas (MSD). Se utilizó una columna HP-5 de 30 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 mm de grosor de revestimiento, Agilent Technologies. El helio fue el gas portador con un caudal de 0,9 mL/min. La temperatura del horno se programada a 60-200 °C (4 °C/min). Para la ejecución MSD, el inyector y el detector se mantuvieron a 200 y 280 °C, respectivamente.

### b) Preparación de recubrimientos

Se prepararon 3 mezclas EPS/AE que fueron seleccionadas según un diseño de experimento realizado en base a cantidades conocidas de EPS/AE (Tabla 1).

Tabla 1. Composición y características de los barnices elaborados.

Características				
		Recubrimiento 1	Recubrimiento 2	Recubrimiento 3
Composición	EPS (g)	0,75	1,25	1
	AE (ml)	4	4	5
% de EPS en la mezcla		19	31	20
Disolución		Homogénea	Homogénea	Homogénea
Aspecto		Sin cambios a 30 días	Sin cambios a 30 días	Sin cambios a 30 días
Tiempo de secado (h)		0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2
Ángulo de contacto (°)		95,38 ± 0,170°	98,59 ± 0,078°	95,71 ± 0,033°

Para cada recubrimiento se evaluaron: i) la exposición a condiciones climáticas; ii) el tiempo de secado; y la iii) la hidrofobicidad.

#### i) Exposición a condiciones climáticas

Los recubrimientos se colocaron en diferentes soportes que incluyeron madera lisa, corteza de árboles, metal, paredes y cerámicos. Se realizó una observación visual de los cambios estructurales del barniz frente a factores climáticos externos a diferentes tiempos (1, 7 y 30 días).

#### ii) Tiempo de secado

El tiempo de secado se midió con cronómetro para los distintos sistemas mencionados.

### iii) Hidrofobicidad

La hidrofobicidad del barniz se realizó mediante la determinación del ángulo de contacto, que se define como el ángulo entre la tangente a la interfaz líquido-vapor y la superficie sólida. Por convención, el ángulo de contacto se mide desde el lado líquido (AJab y AL-Mamori, 2021).

Para ello, una gota de 14  $\mu\text{l}$  de agua fue depositada en los recubrimientos soportados sobre un portaobjetos. Luego, se tomaron fotografías, y se midió el ángulo que se forma entre la gota de agua y la superficie del barniz. El ensayo se realizó a temperatura ambiente. Para el análisis de las imágenes se utilizó el programa Image J. El ensayo se realizó al menos 5 veces para lograr reproducibilidad y se reportó la media de los valores obtenidos.

### c) Análisis de los resultados

El EPS exhibe una masa molar media en masa de 200127 g/mol con una dispersidad de 3,88; este valor, mayor a 2, indica que la distribución de pesos moleculares en la muestra es amplia.

Por otra parte, en el cromatograma obtenido por CG para el AE de naranja se observa la señal característica del limoneno a 7,83 min, siendo el pico más intenso, por ende, el mayoritario. Además, se observan otros compuestos en menor proporción incluyendo terpenos tales como el cineol (eucaliptol).

En otro orden de cosas, en la Figura 1 se puede observar que, en las superficies analizadas (madera y pared exterior), no se advirtieron cambios en el aspecto de las superficies recubiertas en el transcurso de los 30 días observados.



Figura 1. Superficies recubiertas. a) madera; b) pared exterior.

Asimismo, los recubrimientos elaborados presentaron un tiempo de secado entre 0,5 y 2 horas (Tabla 1). Los resultados obtenidos están de acuerdo con tiempos de secado reportados para algunos barnices comerciales que se encuentran entre 20-30 minutos (celulósicos) y 6-8 horas (sintéticos) (Taverna *et. al.*, 2022).

La Figura 2 muestra los ángulos de contacto entre las gotas de agua y los recubrimientos EPS/AE. Los valores medios de los ángulos de contacto de estos recubrimientos se observan en la Tabla 1. Los valores mayores a  $90^\circ$ , nos indican que los recubrimientos presentan una buena capacidad hidrofóbica.

En ese sentido, se puede apreciar que la medida del ángulo de contacto se incrementa con el aumento de la cantidad de EPS en la composición del recubrimiento, lo que indicaría que el comportamiento hidrofóbico es debido a la cantidad de EPS presente en la mezcla. Similares resultados de ángulos de contacto se han observado en recubrimientos de PS disueltos en THF (Xu *et al.*, 2009).

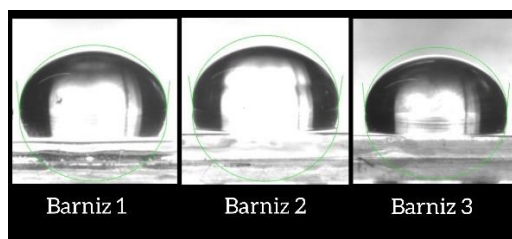


Figura 2. Ángulo de contacto. Sistema (EPS/AE)/agua.

## Conclusiones

Se han desarrollado recubrimientos basados en EPS utilizando solventes verdes como el AE de naranja a partir del residuo de sus cáscaras. Los mismos presentan propiedades similares a los recubrimientos comerciales en

cuanto a aspecto, tiempo de secado e hidrofobicidad. Esta propuesta es una alternativa prometedora para el reciclaje del EPS.

## Agradecimientos

Agradecemos a Richard Pujro de INCAPE (UNL-CONICET) por su colaboración en las determinaciones de CG MS.

## Referencias

- Ajab, J., & AL-Mamori, M. H. (2021). Easy and Simple Method to Measure Contact Angle of Polymer/Solution, *Journal of Current Engineering and Technology*, 3(1), 1-4.
- Arthuz-López, L., y Pérez-Mora, W. (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador técnico*, 83(2), 209-219.
- Benessere, V., Cucciolito, M. E., De Santis, A., Di Serio, M., Esposito, R., Melchiorre, M., & Ruffo, F. (2019). A sustainable process for the production of varnishes based on Pelargonic acid esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(4), 443-451.
- Dan, O., and Trofimova, L. (2021). A Study of the Properties of Forming Mixtures Containing Polystyrene Wastes. *Journal of Casting & Materials Engineering*, 5(2).
- García, M. T., Gracia, I., Duque, G., de Lucas, A., & Rodríguez, J. F. (2009). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste management*, 29(6), 1814-1818.
- Gil-Jasso, N. D., Segura-González, M. A., Soriano-Giles, G., Neri-Hipolito, J., López, N., Mas-Hernández, E., & Ballesteros-Rivas, M. F. (2019). Dissolution and recovery of waste expanded polystyrene using alternative essential oils. *Fuel*, 239, 611-616.
- Taverna, M. E., Boriglio, R., Dobler, S., Lesta, M., Scocco, N., & Garnero, P. C. 2022. Preparación de un barniz basado en residuos poliméricos como complemento experimental para estudiantes de ingeniería. *Educación Química*, 34(2), 81-93.
- Xu, X., Zhang, Z., & Liu, W. (2009). Fabrication of superhydrophobic surfaces with perfluorooctanoic acid modified TiO<sub>2</sub>/polystyrene nanocomposites coating. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 341(1-3), 21-26.