



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,  
Volumen 8, Número 6.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i6](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6)

**RECICLAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO  
POR DENSIFICACIÓN EN ACEITE DE  
COCINA USADO, ALTERNATIVA PARA EL  
DESARROLLO SUSTENTABLE**

RECYCLING OF EXPANDED POLYSTYRENE BY  
DENSIFICATION INTO USED COOKING OIL, AN  
ALTERNATIVE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**Romeo García Cruz**

Tecnológico Nacional de México

**David Reyes González**

Tecnológico Nacional de México

**Guadalupe Rodríguez Martínez**

Tecnológico Nacional de México

**Cleotilde Anahí Álvarez Contreras**

Tecnológico Nacional de México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i6.15607](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15607)

## Reciclaje de Poliestireno Expandido por Densificación en Aceite de Cocina Usado, Alternativa para el Desarrollo Sustentable

**Romeo García Cruz<sup>1</sup>**[romeogarciacruz.97@gmail.com](mailto:romeogarciacruz.97@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0004-4016-9481>Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Misantla  
México**David Reyes González**[dreyesg@itsm.edu.mx](mailto:dreyesg@itsm.edu.mx)<https://orcid.org/0000-0001-6400-5984>Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Misantla  
México**Guadalupe Rodríguez Martínez**[grodriguez@itsm.edu.mx](mailto:grodriguez@itsm.edu.mx)<https://orcid.org/0009-0007-1984-5555>Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Misantla  
México**Cleotilde Anahí Álvarez Contreras**[alvarezcontrerasanahi@gmail.com](mailto:alvarezcontrerasanahi@gmail.com)<https://orcid.org/0009-0003-1977-791X>Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Misantla  
México

### RESUMEN

El poliestireno es uno de los principales plásticos desechados en el mundo. Se estima que el consumo en México de este plástico oscila las 125,000 toneladas al año. De esta cantidad menos del 0.1% logra reciclarse. El aceite de cocina usado es otro residuo que en México se genera en grandes cantidades y que no cuenta con un proceso de reciclaje establecido. Este es uno de los principales causantes de la contaminación del agua. Su disposición final en redes de drenaje y consecuentemente en cuerpos de agua propician la degradación inminente de la flora y fauna con la que entra en contacto. Este estudio demuestra la viabilidad técnica del reciclaje por densificación de residuos de polietileno utilizando aceite de cocina usado como disolvente. Para lograrlo, se siguieron sencillos pasos que constaron del acopio de los residuos, el proceso de densificación y el análisis de los resultados. Con esta alternativa de reciclaje se obtiene la disminución del volumen de los residuos de poliestireno en un 90%. También se obtiene un producto plástico recuperado propicia el estudio de usos y aplicaciones para el mismo. Este procedimiento se proyecta como una alternativa económica y ecológica en comparación con otros métodos de reciclaje de los residuos mencionados.

**Palabras clave:** aceite de cocina usado, residuos de poliestireno, reciclaje, material compuesto, residuos de manejo especial

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [romeogarciacruz.97@gmail.com](mailto:romeogarciacruz.97@gmail.com)

# Recycling of Expanded Polystyrene by Densification Into Used Cooking Oil, an Alternative for Sustainable Development

## ABSTRACT

Polystyrene is one of the main discarded plastics in the world. It is estimated that the consumption of this plastic in Mexico is around 125,000 tons per year. Of this amount, less than 0.1% manages to be recycled. Waste cooking oil is another waste that is generated in large quantities in Mexico and does not have an established recycling process. This is one of the main causes of water pollution. Its final disposal in drainage networks and consequently in bodies of water lead to the imminent degradation of the flora and fauna with which it comes into contact. This study demonstrates the technical feasibility of densification recycling of polyethylene waste using used cooking oil as a solvent. To achieve this, simple steps were followed that consisted of the collection of waste, the densification process and the analysis of the results. With this recycling alternative, the volume of polystyrene waste is reduced by 90%. A recovered plastic product is also obtained, which promotes the study of uses and applications for it. This procedure is projected as an economic and ecological alternative compared to other methods of recycling waste mentioned.

**Keywords:** waste cooking oil, polystyrene waste, recycling, composite material, special handling waste

*Artículo recibido 10 noviembre 2024  
Aceptado para publicación: 12 diciembre 2024*



## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los residuos de manejo especial (RME), son todos aquellos desechos generados tras un proceso productivo de cualquier sector industrial y que por sus características no pueden ser considerados como residuos peligrosos (Ley General Para La Prevención y Gestión Integral de Los Residuos, 2004). Conforme a lo estipulado en la normativa mexicana, también se consideran residuos de manejo especial aquellos residuos sólidos urbanos que en volumen de generación superan las 10 toneladas al año. El problema de los residuos de manejo especial es que a pesar de contar con criterios establecidos en la normativa mexicana para su clasificación y manejo, estos terminan en sitios de disposición final como tiraderos a cielo abierto. Por lo regular, en estos sitios de disposición final los residuos no reciben ningún tratamiento, quedando expuestos en los ecosistemas, generando problemas de contaminación y alteración del entorno natural.

Dos residuos de manejo especial que en México generan graves problemas de contaminación son el poliestireno expandido y el aceite de cocina usado. Por una parte, el poliestireno expandido es un termoplástico con gran versatilidad de aplicaciones dadas sus características fisicoquímicas (Anzorena et al., 2023; Romero et al., 2024). Este suele ser utilizado en el sector de la construcción como aislante térmico y acústico, también se usa como material de empaque en la industria del embalaje y en la elaboración de productos desechables para la industria alimenticia (Portilla, 2021). El poliestireno como residuo cuenta con un bajo índice de reciclaje debido a su poca densidad y gran volumen, que complican su transporte a centros de reciclaje. Estas características lo vuelven además un residuo desvalorizado para la industria del reciclaje en México. Por otro lado, los aceites vegetales comestibles se usan ampliamente en la preparación de alimentos en todo el mundo (Awogbemi & Kallon, 2024) y desempeñan un papel fundamental en la gastronomía mexicana. De acuerdo con diferentes instituciones, anualmente en México se generan 320 millones de litros de aceite de cocina usado como residuo (GISA, 2022). El aceite de cocina usado de origen doméstico, comercial o industrial es un residuo de manejo especial altamente contaminante. Este residuo por lo regular es vertido en fregaderos, donde consecuentemente termina en sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

La contaminación del aceite de cocina usado se produce cuando la flora y la fauna reaccionan con el aceite (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022). Este residuo tiene un impacto negativo en el ambiente, particularmente en la vida acuática. Se estima que un litro de aceite residual contamina hasta cuarenta mil litros de agua (Mujica Pinto, 2021).

Actualmente, existen trabajos reportados en la literatura que trabajan en el reciclaje del poliestireno expandido mediante su densificación con disolventes orgánicos terpénicos (García et al., 2009; Hamidu et al., 2019; Kol et al., 2021; Mujica Pinto, 2021; Mumbach et al., 2020; Obele et al., 2024; Sánchez-Rivera et al., 2023; Y. B. Zhao et al., 2018). También existen trabajos donde se reporta el reciclaje del aceite de cocina usado principalmente para elaborar biocombustibles, biolubricantes y otros productos derivados (Azme et al., 2023; De Feo et al., 2023; Frota de Albuquerque Landi et al., 2022; Goh et al., 2020; Jain & Chandrappa, 2023; Lin et al., 2020; Mannu et al., 2020; Yuechao et al., 2022; Y. Zhao et al., 2022).

Este trabajo plantea la utilización del aceite de cocina usado como disolvente de residuos de poliestireno. Para llevarlo a cabo se plantea un proceso de densificación en el que se busca determinar la cantidad en gramos de poliestireno densificado, considerando las variables de la temperatura del aceite, el tiempo de disolución y el tipo de poliestireno a disolver. Para realizar este proceso, se realizaron los siguientes pasos: recolección del aceite de cocina usado (de origen doméstico o comercial), filtración del aceite para la eliminación de impurezas, preparación del poliestireno a disolver, calentamiento del aceite y disolución de los residuos de poliestireno, registro de resultados. Los resultados de la primera corrida de piloto han demostrado ser efectivos. Esta alternativa de reciclaje del poliestireno logra reducir el volumen del poliestireno hasta en un 90%. Definitivamente esta estrategia para el manejo de ambos residuos facilitaría el transporte y almacenamiento de los residuos de poliestireno para ser utilizado como materia prima reciclada. Además de atender el manejo responsable del aceite de cocina residual, contribuyendo a la disminución de la contaminación.

## **METODOLOGÍA**

Este trabajo de investigación, que de acuerdo con (Hernández Sampieri et al., 2014), se apega a una investigación descriptiva con enfoque cuantitativo y de tipo experimental de acuerdo con (Tamayo Tamayo, 2004).

Para llevarla a cabo, se siguieron los siguientes pasos: recolección del aceite de cocina usado (de origen doméstico o comercial), filtración del aceite para la eliminación de impurezas, preparación del poliestireno a disolver, calentamiento del aceite y disolución de los residuos de poliestireno, registro de los resultados.

### **Residuos de poliestireno**

Los residuos de poliestireno expandido que se utilizaron en el desarrollo de este trabajo fueron principalmente piezas de embalaje de equipo de cómputo, como se puede observar en la figura 1. Estos residuos fueron recuperados de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, evitando su disposición final en el tiradero a cielo abierto municipal.

**Figura 1.** Residuos de poliestireno de embalaje recuperados



Fuente: Elaboración propia.

Los residuos recibieron un tratamiento previo que consistió en la limpieza y eliminación de agentes contaminantes externos como cintas, cartón, papel, hilo, entre otros.

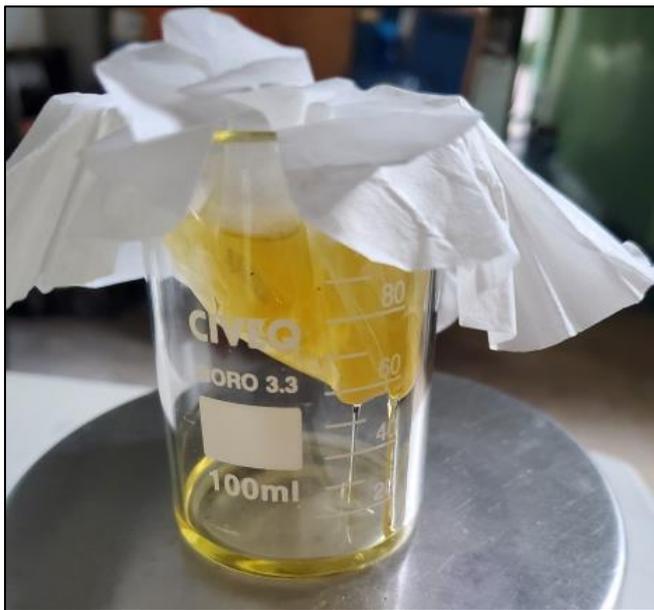
### **Aceite de cocina residual**

El aceite de cocina residual que se utilizó para desarrollar este estudio fue recolectado en un domicilio. En el domicilio habitan cinco personas y fue el aceite que utilizaron para cocinar durante dos meses.

Para su acopio se entregaron dos botellas donde se colocaría el aceite una vez que este haya sido utilizado en la cocina para la preparación de sus alimentos. Al término de los dos meses, la cantidad recolectada de acetite de cocina usado fue de un 1.45 litros.

Para garantizar que no existieran agentes contaminantes externos en el experimento, como restos de comida, entre otros, se aplicó filtración gravitacional al aceite de cocina con la ayuda de papel filtro como único tratamiento previo, como se muestra en la figura 2.

**Figura 2.** Filtración gravitacional del aceite de cocina usado

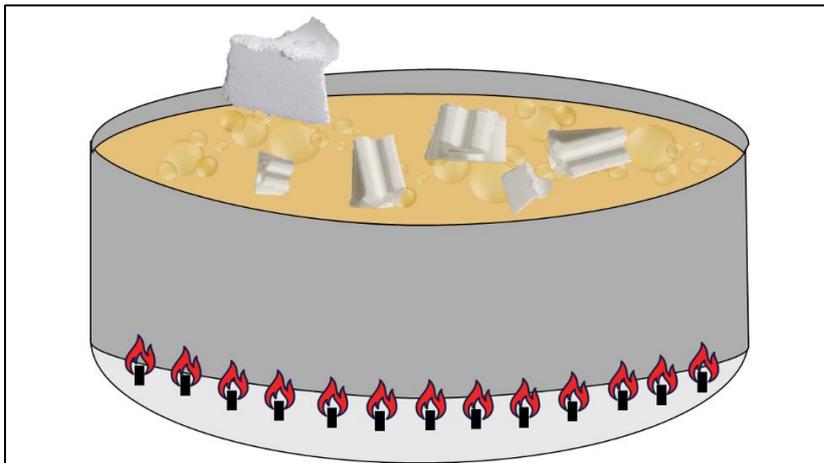


Fuente: Elaboración propia.

### **Proceso de densificación**

Para corroborar la viabilidad técnica del proceso de densificación de residuos de poliestireno en aceite residual, se procedió a realizar una prueba piloto. Para esta prueba se colocaron 100 ml de aceite previamente filtrado, dentro de un recipiente (lata de atún reutilizada). El recipiente se colocó al fuego en una hornilla y se dejó calentar el aceite. Con la ayuda de un pirómetro se monitoreó la temperatura del aceite hasta que esta estuviera entre 200 y 250 °C. Una vez que el aceite alcanzó el rango de temperatura determinado, se fueron agregando trozos de poliestireno de entre 1 y 4 cm. A continuación en la figura 3 se puede observar la representación gráfica del proceso antes descrito.

**Figura 3.** Proceso de densificación

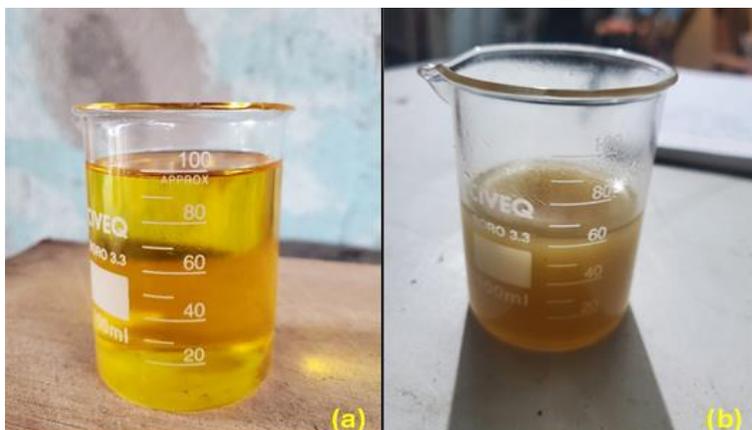


Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

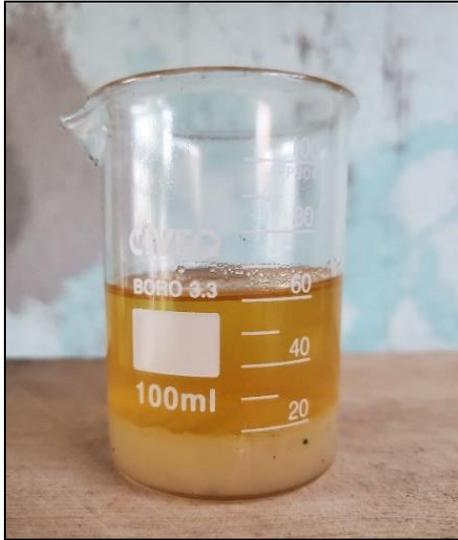
Los resultados de la prueba piloto fueron óptimos en cuanto a la disminución del volumen de los residuos de poliestireno. Se logró una correcta densificación del poliestireno, permitiendo obtener una masa plástica consistente y moldeable. Al término de la prueba piloto la cantidad de poliestireno que se obtuvo fue de 45 gramos en un tiempo de 1 minuto y 26 segundos (86 segundos). Al final de la prueba piloto, la masa plástica se separó del aceite por decantación y fue colocada en otro recipiente. El peso final de esta masa plástica fue de 74 gramos. Esto nos hace deducir que al romperse las cadenas poliméricas del poliestireno para liberar el aire que contiene, sucede una interacción física en la composición de ambos residuos. Una vez que el proceso de densificación terminó, fue posible recuperar el aceite utilizado. Aunque es notable una disminución del mismo, como se observa en la figura 4, es posible repetir el proceso, permitiendo llevar a cabo varios ciclos de densificación.

**Figura 4.** (a) Aceite residual al inicio del proceso, (b) aceite después de un ciclo de densificación.



Al finalizar el primer ciclo de densificación de la prueba piloto, se dejó que el aceite residual regresara a la temperatura ambiente lo que permitió observar un sedimento. Este se aprecia en la imagen 5 a continuación. Es probable que estos sedimentos sean residuos de poliestireno de menor tamaño que pueden ser retirados del aceite mediante filtración gravitacional con ayuda de papel filtro.

**Figura 5.** Aceite residual después de un ciclo de densificación con sedimentos de poliestireno.



Fuente: Elaboración propia.

Después de la prueba piloto, se realizó un arreglo experimental de 10 corridas sin replica. Esto para determinar el tiempo que lleva el proceso de densificación y la cantidad de residuos de poliestireno que se pueden densificar hasta la saturación del medio disolvente (aceite). El desarrollo experimental para la obtención de la masa plástica de poliestireno y los datos obtenidos se muestran a continuación en la tabla 1. Además, para tener una mejor percepción sobre el comportamiento de la cantidad de poliestireno densificado en el aceite de cocina usado, se estableció una Relación de Recuperación de Poliestireno en Aceite (RRPA). Este índice se describe en la ecuación 1. Una vez terminadas las corridas experimentales, se obtuvo un índice promedio de RRPA de 1.3362. Con este índice es posible determinar que la capacidad de disolución del aceite de cocina residual sobre los residuos de poliestireno tiene un rendimiento mayor al 100%, específicamente, por cada mililitro de aceite residual utilizado como disolvente es posible densificar un 1.3362 gramos de poliestireno.

*Relación de Recuperación de Poliestireno en Aceite =*

$$\frac{\text{cantidad de gramos disueltos de poliestireno (g)}}{\text{volumen de aceite residual utilizado (ml)}} \quad (\text{Ec. 1})$$

**Tabla 1.** Experimentos de densificación hasta el punto de saturación.

No. de corrida	Cantidad de aceite (ml)	Cantidad de poliestireno densificado (g)	Relación de Recuperación de Poliestireno en Aceite (RRPA)	Tiempo del proceso (s)
1	20	28.25	1.4125	169
2	20	29.69	1.4845	210
3	20	25.00	1.2500	196
4	20	24.54	1.2270	136
5	20	25.05	1.2525	204
6	20	29.07	1.4535	204
7	20	30.64	1.5320	198
8	20	23.17	1.1585	185
9	20	30.49	1.5245	231
10	20	21.35	1.0675	202
<b>Promedio</b>		<b>26.725</b>	<b>1.3362</b>	<b>193.5</b>

Cabe mencionar que durante estas pruebas, no fue posible la recuperación sustancial de aceite para nuevos ciclos de densificación. Con los resultados de las corridas experimentales, así como los de la corrida de piloto es posible identificar que mientras se tenga mayor cantidad de aceite como agente disolvente, mayor será la cantidad de residuos de poliestireno densificados y menor el tiempo de densificación. Sin embargo, se debe considerar que, en la corrida de piloto fue posible obtener una masa plástica uniforme por decantación entre el aceite y el poliestireno. Esta masa plástica, mientras mantenía una temperatura elevada podía manejarse o aplicarse en moldes para la elaboración de piezas o recubrimientos. En cambio, con las corridas experimentales donde la mezcla soluto-disolvente se saturaba, se obtuvo un material compuesto, con mayor consistencia que la masa plástica de la corrida piloto pero con la misma capacidad de ser moldeable mientras mantuviera una temperatura elevada.

En la tabla 2 a continuación, se muestran los estadísticos descriptivos de los datos obtenidos de las diez corridas experimentales. Es posible observar que tanto la cantidad de poliestireno densificado, como el tiempo de cada densificación tienen una dispersión moderada con respecto al promedio. A raíz de esto se puede concluir que no existe una diferencia significativa en cuanto a la cantidad de poliestireno que se densifica en los 20 mililitros de aceite residual que se utilizó en cada corrida experimental. De igual manera, se puede deducir para la variable del tiempo que no existe una diferencia significativa en para

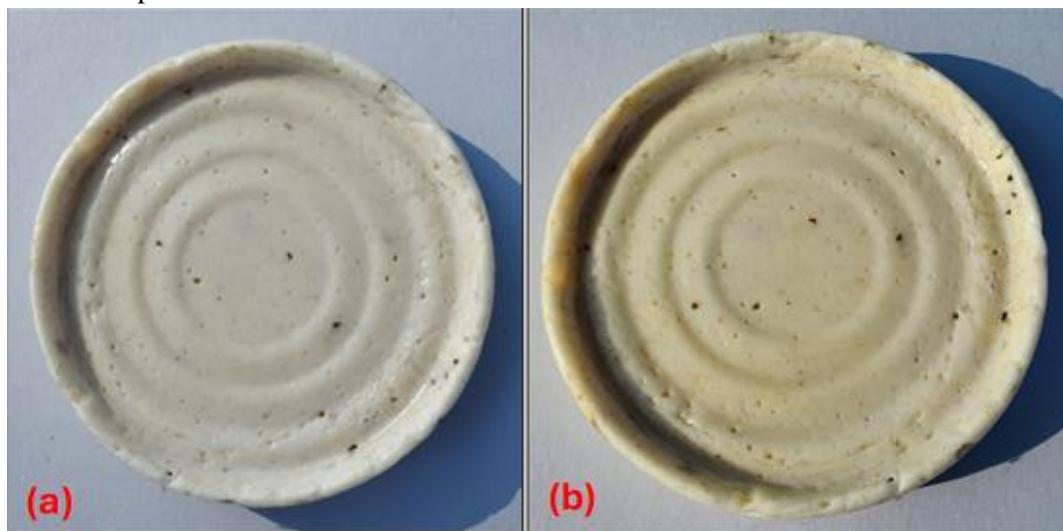
este proceso de densificación. Sin embargo por la desviación estándar que las variables presentan, para trabajos futuros se propone realizar un análisis de correlación para ver el efecto que la temperatura como factor tiene sobre estas variables de respuesta.

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos: EPS densificado (g), Tiempo (s)

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
EPS densificado (g)	10	26.73	1.04	3.30	21.35	30.64
Tiempo (s)	10	193.50	8.15	25.77	136.00	231.00

A continuación en la figura 6, se puede observar la masa plástica obtenida de la corrida de piloto (a), que luego de decantarse se colocó en un recipiente para su enfriamiento. También se observa el material compuesto obtenido de las corridas experimentales (b), que de igual manera se colocaron en un recipiente para que tomaran la temperatura ambiente.

**Figura 6.** (a) masa plástica obtenida en la corrida de control, (b) material compuesto obtenido de las corridas experimentales



Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos de este estudio, es posible concluir que el desarrollo de este tipo de procesos de reciclaje como alternativas asequibles para el manejo de residuos en países en desarrollo, como México, generan oportunidades laborales y áreas de estudio. Con la densificación de residuos de poliestireno en aceite de cocina usado se garantiza la disminución de residuos difíciles de reciclar que

terminan con una disposición final inadecuada. Los dos residuos con los que se trabaja en este estudio actualmente no cuentan con procesos de reciclaje viables técnica o económicamente, por lo que los beneficios de usar aceite para la densificación de residuos de poliestireno destacan por su sostenibilidad. Es preciso mencionar que como trabajos futuros debe demostrarse el impacto ambiental que este proceso de densificación tiene en comparación con otros métodos de reciclaje para ambos residuos como el químico o el térmico. Posiblemente un análisis del ciclo de vida desde el enfoque de la economía circular brinde la información necesaria para conocer estos datos.

El siguiente paso para este estudio, es el análisis de las características mecánicas y físicas de la masa plástica y el material compuesto obtenidos en este proceso de reciclaje. Además de determinar a raíz de dichas propiedades los usos y aplicaciones viables para estos materiales recuperados.

El principal reto para desarrollar este proceso de reciclaje en un ambiente real, en vista de ser aplicado por micro o pequeñas empresas de reciclaje o centros de acopio comunitarios, es la recolección de ambos residuos. Sin embargo, con una campaña de concienciación eficiente y un esquema de recolección de residuos planeado de manera eficiente, sería posible crear un modelo de valorización de estos residuos que permita su recuperación y aprovechamiento posconsumo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anzorena, H., Paulo, C., Ciolino, A., Passaretti, M., Villar, M., López, O., & Nigano, M. (2023). Efecto de la incorporación de rellenos minerales sobre las propiedades ópticas de films de polietileno. *Revistas.Uncu.Edu.Ar*.

<https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/revicap/article/view/7053>

Awogbemi, O., & Kallon, D. V. Von. (2024). Conversion of hazardous waste cooking oil into non-fuel value added products. *International Journal of Ambient Energy*, 45(1).

<https://doi.org/10.1080/01430750.2024.2345253>

Azme, S. N. K., Yusoff, N. S. I. M., Chin, L. Y., Mohd, Y., Hamid, R. D., Jalil, M. N., Zaki, H. M., Saleh, S. H., Ahmat, N., Manan, M. A. F. A., Yury, N., Hum, N. N. F., Latif, F. A., & Zain, Z. M. (2023). Recycling waste cooking oil into soap: Knowledge transfer through community service learning. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100084.

<https://doi.org/10.1016/J.CLWAS.2023.100084>



- De Feo, G., Ferrara, C., Giordano, L., & Ossèò, L. S. (2023). Assessment of Three Recycling Pathways for Waste Cooking Oil as Feedstock in the Production of Biodiesel, Biolubricant, and Biosurfactant: A Multi-Criteria Decision Analysis Approach. *Recycling*, 8(4), 64. <https://doi.org/10.3390/RECYCLING8040064/S1>
- Frota de Albuquerque Landi, F., Fabiani, C., Castellani, B., Cotana, F., & Pisello, A. L. (2022). Environmental assessment of four waste cooking oil valorization pathways. *Waste Management*, 138, 219–233. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.11.037>
- García, M. T., Gracia, I., Duque, G., Lucas, A. de, & Rodríguez, J. F. (2009). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste Manage*, 29(6), 1814–1818. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.01.001>
- GISA. (2022). *Tratamiento de residuos: aceites de origen vegetal y mineral*. Acciones Para El Tratamiento Adeuado de Aceites. <https://grupogisa.mx/tratamiento-de-residuos-aceites-de-origen-vegetal-y-mineral/>
- Goh, B. H. H., Chong, C. T., Ge, Y., Ong, H. C., Ng, J. H., Tian, B., Ashokkumar, V., Lim, S., Seljak, T., & Józsa, V. (2020). Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production. *Energy Conversion and Management*, 223, 113296. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2020.113296>
- Hamidu, L. A. J., Aroke, U. O., Osha, O. A., & Muhammad, I. M. (2019). Formulation and Characterization of Adhesive Produced From Polystyrene Waste Using Response Surface Optimization. *Path of Science*, 5(8), 2001–2009. <https://doi.org/10.22178/POS.49-2>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación (M. Á. Toledo Castellanos & M. I. Rocha Martínez, Eds.; Sexta edición). Mc Graw Hil Education.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A. S., Kalogirou, S. A., Gupta, V. K., Park, Y. K., Fallahi, A., Sulaiman, A., Ranjbari, M., Rahnama, H., Aghbashlo, M., Peng, W., & Tabatabaei, M. (2022). Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112411. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112411>

- Jain, S., & Chandrappa, A. K. (2023). Critical review on waste cooking oil rejuvenation in asphalt mixture with high recycled asphalt. *Environmental Science and Pollution Research* 2023 30:32, 30(32), 77981–78003. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-28098-4>
- Kol, R., De Somer, T., D'hooge, D. R., Knappich, F., Ragaert, K., Achilias, D. S., & De Meester, S. (2021). State-Of-The-Art Quantification of Polymer Solution Viscosity for Plastic Waste Recycling. *ChemSusChem*, 14(19), 4071–4102. <https://doi.org/10.1002/CSSC.202100876>
- Ley General Para La Prevención y Gestión Integral de Los Residuos (2004). <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914>
- Lin, Y. C., Amesho, K. T. T., Chen, C. E., Cheng, P. C., & Chou, F. C. (2020). A cleaner process for green biodiesel synthesis from waste cooking oil using recycled waste oyster shells as a sustainable base heterogeneous catalyst under the microwave heating system. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 100310. <https://doi.org/10.1016/J.SCP.2020.100310>
- Mannu, A., Garroni, S., Porras, J. I., & Mele, A. (2020). Available Technologies and Materials for Waste Cooking Oil Recycling. *Processes* 2020, Vol. 8, Page 366, 8(3), 366. <https://doi.org/10.3390/PR8030366>
- Mujica Pinto, A. N. (2021). *Obtención de jabón de tocador líquido en base a aceite vegetal usado*. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/35673>
- Mumbach, G. D., Bolzan, A., & Machado, R. A. F. (2020). A closed-loop process design for recycling expanded polystyrene waste by dissolution and polymerization. *Polymer*, 209, 122940. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2020.122940>
- Obele, C. M., Ibenta, M. E., & Ogbuagu, J. O. (2024). Production and characterization of an ecofriendly polystyrene waste adhesive made with toluene–acetone solvent. *Polymer Bulletin*, 81(11), 10235–10253. <https://doi.org/10.1007/S00289-024-05196-Y/METRICS>
- Portilla, A. V. (2021). *Impactos ambientales producidos por el uso de poliestireno expandido (Tecnopor) en la industria de la construcción de Trujillo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56529>

- Romero, D., Alonso, M., Escalier, V., & Madregal, S. (2024). Biodegradación de bandejas desechables de poliestireno. *Confedi.Org.Ar*. <https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2023/05/Articulo14-RADI-21.pdf>
- Sánchez-Rivera, K. L., Munguía-López, A. del C., Zhou, P., Cecon, V. S., Yu, J., Nelson, K., Miller, D., Grey, S., Xu, Z., Bar-Ziv, E., Vorst, K. L., Curtzwiler, G. W., Van Lehn, R. C., Zavala, V. M., & Huber, G. W. (2023). Recycling of a post-industrial printed multilayer plastic film containing polyurethane inks by solvent-targeted recovery and precipitation. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 107086.  
<https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2023.107086>
- Tamayo Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica (Cuarta edición). LIMUSA.
- Yuechao, Z., Meizhu, C., Shaopeng, W., & Qi, J. (2022). Rheological properties and microscopic characteristics of rejuvenated asphalt using different components from waste cooking oil. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133556.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133556>
- Zhao, Y. B., Lv, X. D., & Ni, H. G. (2018). Solvent-based separation and recycling of waste plastics: A review. *Chemosphere*, 209, 707–720.  
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.06.095>
- Zhao, Y., Chen, M., Zhang, X., Wu, S., Zhou, X., & Jiang, Q. (2022). Effect of chemical component characteristics of waste cooking oil on physicochemical properties of aging asphalt. *Construction and Building Materials*, 344, 128236.  
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128236>