

# ¿Cómo transformar Residuos Plásticos en Productos?

## Introducción

Los residuos plásticos abarcan una amplia gama de materiales y provienen de diferentes sectores de la economía. En Europa, por ejemplo, existen siete principales actividades económicas que demandan plástico y, por lo tanto, generan residuos plásticos. Por lo tanto, la revalorización del plástico implica varios tipos de materiales y las corrientes de materiales varían ampliamente. Estas principales actividades se presentan en la Figura 1.

Hay dos métodos principales para transformar los residuos plásticos en materiales revalorizados para la fabricación de nuevos productos. Uno es a través de un procesamiento mecánico y el otro utilizando procesos químicos. Después de las primeras etapas del esquema de revalorización del plástico, es decir, después de recuperar el material de cualquiera de las fuentes disponibles, el procesamiento mecánico y químico son el siguiente paso para obtener materiales realmente utilizables.

En esta Unidad de Conocimiento, se proporciona una breve descripción de la composición de los residuos plásticos, junto con una introducción al procesamiento mecánico y químico. Un análisis más detallado de la composición de los residuos plásticos se desarrollará en otra Unidad de Conocimiento.

## Comenzando el Proceso de Revalorización del Plástico

Como se mencionó antes, se puede obtener una imagen precisa de la composición de los residuos plásticos al observar la demanda de plástico de nuevos productos. La Figura 1 muestra esta demanda segregada por segmento de la economía y por tipo de polímero.

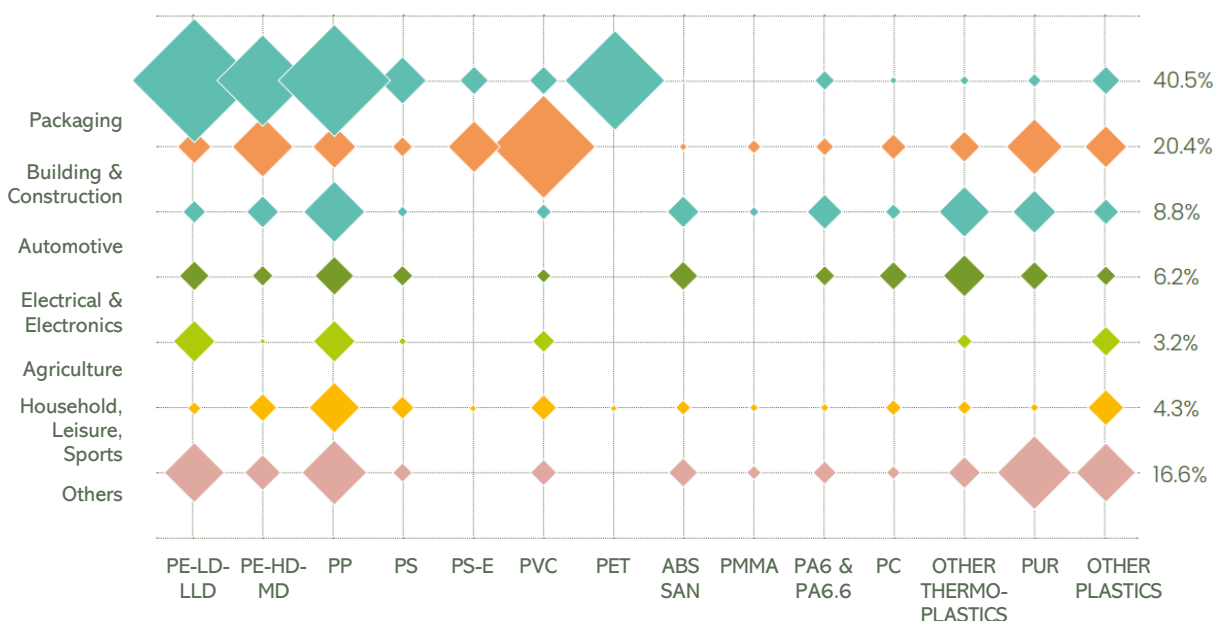


Figura 1. Demanda de plástico en la UE+3 por segmentos y polímeros en 2020. Adaptado de [1]

Como se puede ver, el uso de plástico por parte de la industria del embalaje supera con creces al resto de los sectores. No solo el embalaje tiene un ciclo de vida más corto en comparación con el resto de los tipos de residuos plásticos, sino que también es uno de los tipos más difíciles de revalorizar. La amplia gama de envases y paquetes con fines de marca y marketing reduce la reutilización y la reciclabilidad [2], además de eso, los plásticos revalorizables post-consumo (PC) a menudo están contaminados con restos de comida y materiales no reciclables. Por lo tanto, es necesario realizar una adecuada recogida, transporte y clasificación de residuos para recuperar mayores cantidades de plásticos PC.

Es importante destacar que los diferentes polímeros en la Figura 1 tienen diferentes valores en cuanto a revalorización. Algunos polímeros se recuperan mucho más que otros, las tasas para el tereftalato de polietileno (PET) y el polietileno de alta densidad (HDPE) suelen superar el 10%, mientras que las tasas para el poliestireno (PS) y el polipropileno (PP) están más cerca de cero [3]. La Figura 2 muestra algunos de los plásticos más utilizados en la actualidad.



Figura 2. Productos plásticos comunes

Las opciones de procesamiento son similares tanto para los residuos postindustriales (PI) como para los residuos PC. Cuando se obtienen nuevas materias primas a través de procesos mecánicos, generalmente conducen a gránulos, como los que se muestran en la Figura 3, y cuando se utiliza el enfoque químico, generalmente conduce a la obtención de bloques de construcción de monómeros [4].



Figura 3. Pellets de plástico. Imagen de AdobeStock.

### Procesos mecánicos de reciclaje de plásticos.

La recuperación mecánica de residuos plásticos es el método más común para el reciclaje, y es el mercado más desarrollado con cadenas de suministro bien establecidas. Como explica Plastics Europe [5], el proceso se realiza de la siguiente manera:

- **Recogida:** Recogida de productos plásticos al final de su vida útil de corrientes de residuos separados y mixtos.
- **Primera clasificación:** Una vez que los residuos plásticos llegan a la planta de reciclaje, se clasifican. Si bien parte de la clasificación puede haberse realizado en la etapa de recogida, puede ser necesario realizar una separación adicional por color o grosor.
- **Trituración:** Los plásticos deben triturarse en piezas más pequeñas antes de poder reutilizarse.
- **Lavado:** El lavado elimina el polvo y la suciedad para asegurarse de que los plásticos estén limpios antes de pasar a la siguiente etapa. Esto puede incluir la eliminación de rastros de alimentos, bebidas o etiquetas.
- **Segunda clasificación y control:** Los plásticos se clasifican nuevamente y se controlan antes de ser enviados a la extrusión.
- **Extrusión:** Las escamas de plástico finalmente se convierten en pellets homogéneos listos para usar en la fabricación de nuevos productos.

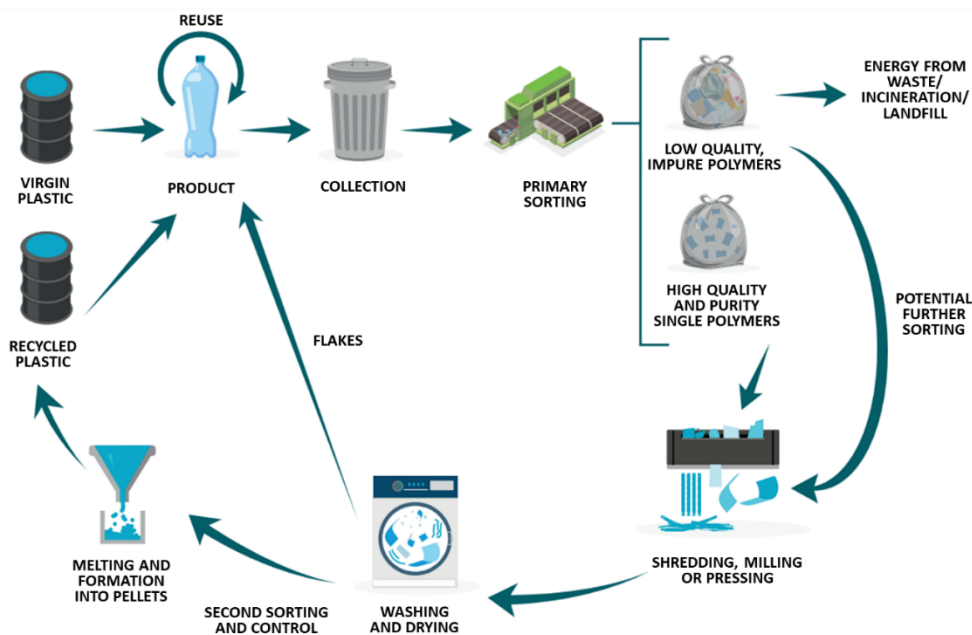


Figura 4. Diagrama del sistema de reciclaje mecánico. Adaptado de [6].

Como se mencionó en la introducción, los residuos plásticos provienen de orígenes industriales y de consumo, donde los residuos PI tienden a estar mejor separados según su composición, por lo que la clasificación se aplica al residuo PC con mucha más frecuencia que al residuo PI. Lo mismo ocurre con el lavado, ya que los residuos PC suelen estar más contaminados [4].

Las cadenas de suministro más desarrolladas de reciclaje mecánico son aquellas establecidas para el PET y el PE (HDPE), esto se debe a que su cadena de polímeros se descompone a una temperatura relativamente baja, por lo que hay menos degradación durante el proceso de reciclaje [7]. Sin embargo, en teoría, todos los termoplásticos se pueden reciclar mecánicamente con poco o ningún impacto en la calidad. La siguiente lista muestra algunos de los ejemplos más comunes de termoplásticos [5]:

- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)
- Policarbonato (PC)
- Polietileno (PE)
- Poliéster tereftalato (PET)
- Poli tetrafluoroetileno (PTFE)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polimetil metacrilato (PMMA)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Poliestireno expandido (EPS)

### Ventajas y desafíos

La principal ventaja del reciclaje mecánico es que es adecuado para una implementación descentralizada. Las plantas de reciclaje mecánico son simples y económicas, tienen una demanda relativamente baja de energía y recursos en comparación con las plantas requeridas para el reciclaje químico [8].

El reciclaje mecánico funciona mejor con corrientes homogéneas de plásticos. Según K. Ragaert et al. (2017), el uso de revestimientos y pinturas complica el proceso. Además, si los contaminantes no son completamente solubles, pueden inducir una separación de fases con un impacto negativo en las propiedades mecánicas [4].

Durante el reciclaje mecánico de polímeros, los dos tipos de degradación más importantes son:

- Degradación causada por el reprocesamiento (degradación térmico-mecánica)
- Degradación durante la vida útil.

Tanto el reciclaje de plásticos PI como PC sufren degradación causada por una combinación de calor y cizallamiento mecánico. La degradación que ocurre durante la vida útil debido a la exposición prolongada a todo tipo de factores en el entorno (calor, oxígeno, luz, humedad, etc.). Sin embargo, este tipo de degradación solo es importante en el caso del reciclaje de plásticos PC [4].

### **Procesos químicos de reciclaje de plásticos.**

Cualquier tecnología de reprocesamiento que afecte la formulación del residuo polimérico o el propio polímero y los convierta en sustancias y/o productos químicos puede definirse como reciclaje químico (excluyendo la recuperación de energía). El reciclaje químico ofrece una opción viable para los residuos plásticos que están más contaminados o que están mezclados y/o consisten en materiales múltiples [9].

Se basa en convertir los polímeros en moléculas más pequeñas. Las rutas de reciclaje químico se pueden dividir aproximadamente en procesos de conversión termoquímica y catálisis [4]. Algunas de las tecnologías que se pueden encontrar dentro de este paraguas de reciclaje químico son [9]:

- Despolimerización: se centra principalmente en corrientes monomateriales separadas por tipos de plástico, es decir, PET (incluidas las fibras), poliamidas o nailon (PA), poliuretano (PU), PMMA y ácido poliláctico (PLA).
- Pirólisis y mejora hidrotérmica: se centran principalmente en polímeros mezclados, incluidas las capas múltiples, materiales múltiples dentro de límites controlados (LDPE, HDPE, PP, PS).
- Gasificación: se centra principalmente en polímeros mezclados.

Otra clasificación del proceso se puede obtener al observar los productos de las tecnologías. El reciclaje mecánico no cambia la estructura de los polímeros. La purificación implica el uso de disolventes para eliminar aditivos de los polímeros, dejando los polímeros casi sin cambios. La despolimerización (descomposición) descompone las largas cadenas de hidrocarburos en fracciones de hidrocarburos más cortas o en monómeros utilizando procesos químicos, térmicos o catalíticos. Por último, las tecnologías de conversión devuelven los materiales plásticos a los

componentes muy básicos que se encuentran en la corriente de entrada de la industria petroquímica [10]. Se presenta un resumen gráfico en la Figura 5.

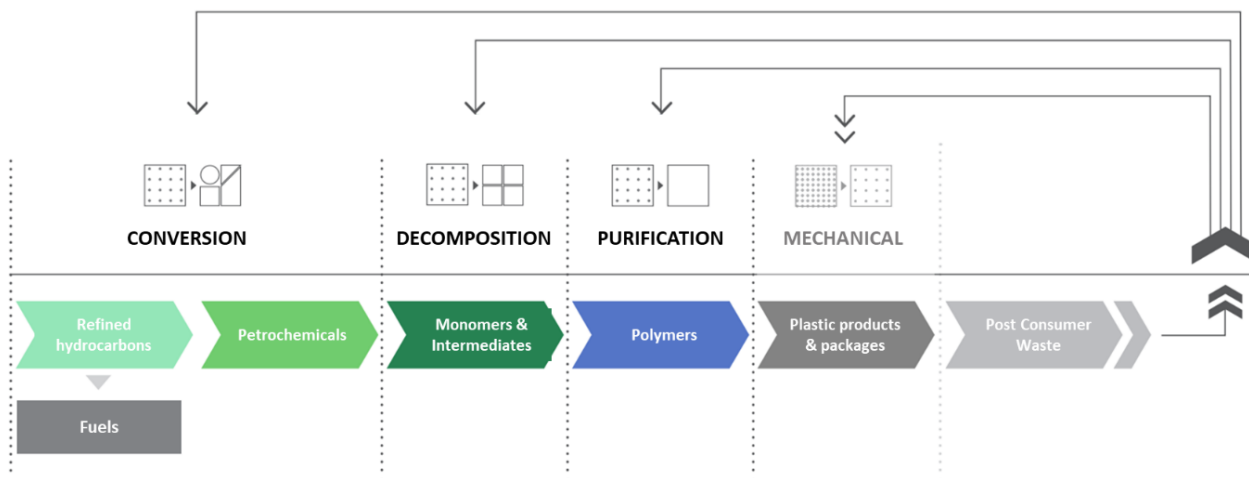


Figura 5 Tecnologías químicas para revalorizar los residuos plásticos. Adaptado de [11].

En la ilustración anterior, "Monómeros" incluye otros intermediarios, como el paraxileno. En el panorama actual, estos intermediarios a menudo se fabrican a partir de productos petroquímicos producidos por el proceso de conversión.

### Ventajas y desafíos

A diferencia del reciclaje mecánico, la calidad del reciclado (el resultado del proceso de reciclaje) lograda al final del reciclaje químico es comparable a la calidad de los materiales plásticos vírgenes [8].

Desde una perspectiva general, los resultados del Análisis de Ciclo de Vida para los procesos de reciclaje químico son positivos. El reciclaje químico tiene un impacto ambiental menor en comparación con la incineración durante la recuperación de energía; también es menor que fabricar plásticos o productos químicos especializados a partir de fuentes fósiles. Sin embargo, tiende a tener un mayor impacto ambiental que el reciclaje mecánico, aunque varía entre tecnologías y corrientes de plásticos tratados [9].

A continuación, se proporciona una tabla de comparación de ventajas y desventajas tanto para el reciclaje mecánico como para el químico.

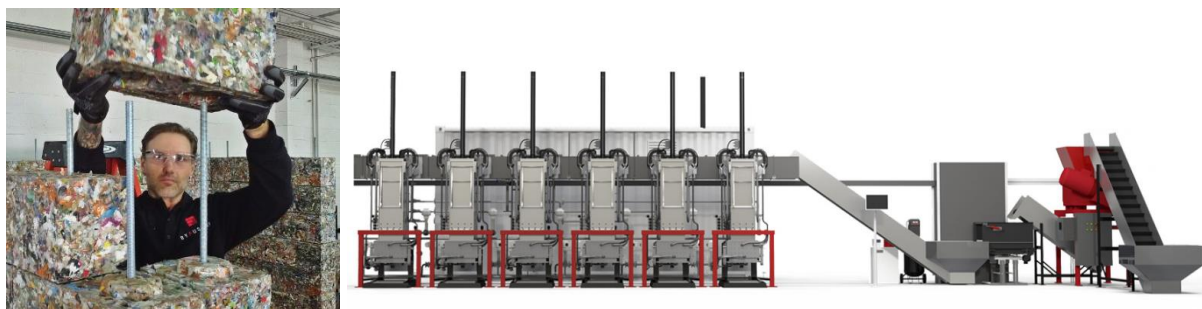
Propiedad	Reciclaje Mecánico	Reciclaje Químico
Requisitos técnicos para la infraestructura / procesos	Baja	Alta
Posibilidad de procesamiento descentralizado	Posible	Difícil actualmente a nivel técnico y económico
Requisito de calidad para la corriente de entrada	High	Baja -Media
Calidad del material de salida	Depende de la calidad del material de entrada. Es posible una mejora moderada de la calidad utilizando parámetros de proceso y aditivos, pero es inversamente proporcional al gasto técnico	Muy Alta
Aprobación normativa alimentaria del producto	Posible en casos especiales	Alta
Posibilidad de reciclaje múltiple	Limitada	Posible

<i>Madurez industrial</i>	Alta	Dependiendo del proceso, no completamente maduro
<i>Coste</i>	Baja	Alta
<i>Evaluación ambiental</i>	Debido a la falta de datos sobre toda la vida útil, incluyendo el reciclaje múltiple, los pasos de mejora de calidad y el uso específico de aplicaciones de los materiales recuperados, no es posible una comparación precisa. Aunque en cuanto al efecto ecológico, se espera que el reciclaje mecánico sea más ventajoso.	

Tabla 1 Ventajas y desventajas del reciclaje químico frente al mecánico. Adaptado de [8].

## Casos de estudio y ejemplos

En un enfoque de reciclaje mecánico puro, [ByFusion](#) creó el ByBlock. Utilizando solo vapor (calor) y compresión, el proceso de cero residuos de la compañía reutiliza residuos plásticos mixtos no clasificados en ByBlock sin aditivos secundarios ni rellenos. El ByBlock se puede personalizar con densidades específicas, no se agrieta ni desmenuza como los bloques de concreto, no requiere pegamento ni adhesivos, genera un 83% menos de emisiones de CO2 que los bloques de concreto y puede usar material residual de construcción para crear más ByBlocks.



En Italia, [Ecoplasteam](#) utiliza un proceso patentado para tratar los polilaminados (capas de plástico + metal) de las corrientes de residuos PC y crear una nueva línea secundaria de materiales reciclables. Mediante la combinación de reciclaje mecánico y algunos aditivos, Ecoplasteam ideó un nuevo material producido a partir de residuos de envases de alimentos. Cuando los polilaminados de PC provienen de corrientes similares, el resultado es consistente con el tiempo en términos de composición y características. Esto permite que el nuevo material EcoAllene® sea consistente y repetible, lo que permite a sus clientes trabajar con él de la misma manera que con la materia prima. Algunas imágenes del proceso y las aplicaciones del nuevo material se muestran a continuación.



Componentes de automóviles



Envasado



Equipamiento y accesorios

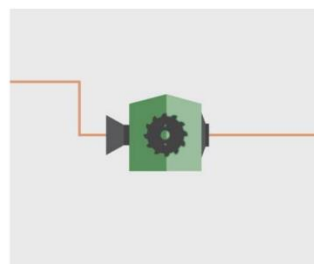
Avanzando en el reciclaje químico, la empresa Makeen Energy desarrolló la planta [Plastcon](#). Esta tecnología hace posible convertir residuos plásticos no tratados y no clasificados en aceite de pirólisis y otros recursos que se pueden utilizar para la producción de nuevos materiales plásticos. El sistema acepta todo tipo de residuos plásticos, sin excepciones.

Dependiendo de la configuración específica y el contexto, el sistema puede producir aproximadamente:

- 75% de aceite de pirólisis, que se puede utilizar en la producción de nuevos materiales plásticos.
- 15% de gas que se puede utilizar para producir energía o calor. La producción de gas consiste en una mezcla de metano, etano y propano.
- 10% de negro de carbono que se puede utilizar para colorear nuevos materiales plásticos.



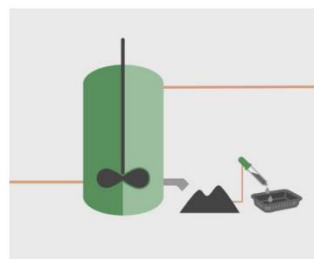
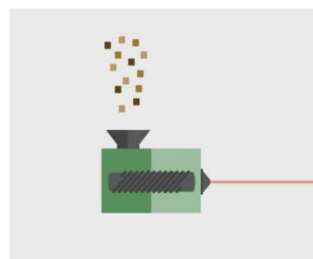
1. Residuo Plástico



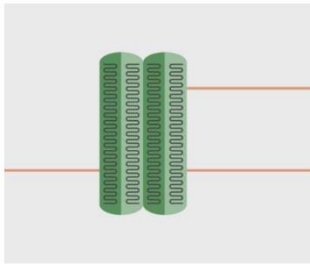
2. Trituradora



3. Clasificación

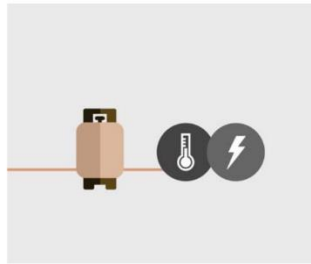


4. Densificador



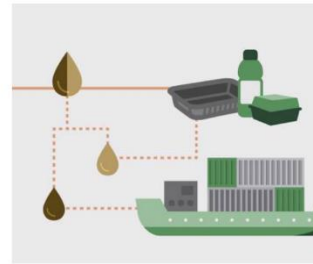
7. Condensación

5. Pírolisis



8. Gas

6. Negro de humo



9. Aceite de Pírolisis



## Recursos

### Artículos:

- Reciclaje químico y su potencial de reducción de CO2
  - <https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Chemical-recycling-and-its-CO2-reduction-potential.pdf>
- Explicación del reciclaje químico: una visión general
  - <https://pryme-cleantech.com/chemical-recycling>
- ¿Qué es el reciclaje mecánico?
  - <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-mechanical-recycling>

### Contenido Gráfico:

- Plásticos: Los Hechos 2021
  - [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021\\_250122.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf)

### Videos:

- ¿Cómo funciona realmente el reciclaje de plástico?
  - <https://www.youtube.com/watch?v=zO3jFKiqmHo&t=213s>
- ¿Cómo reciclar lo no reciclable?
  - <https://www.youtube.com/watch?v=cPEDdrGDGrS>

### Otros recursos:

- Precious Plastic Academy
  - <https://community.preciousplastic.com/academy/plastic/basics>
- The Circular Economy for Plastics – A European Overview
  - <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-overview-2/>

#### Referencias:

- [1] “Plastics - the Facts 2021,” Plastics Europe, 2021. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021\\_250122.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf)
- [2] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, “Plastics recycling: challenges and opportunities,” *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 2115–2126, Jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0311.
- [3] “Improving Plastics Management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade,” OECD Environment Policy Papers 12, Sep. 2018. doi: 10.1787/c5f7c448-en.
- [4] K. Ragaert, L. Delva, and K. Van Geem, “Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste,” *Waste Manag.*, vol. 69, pp. 24–58, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
- [5] “Recycling technologies • Plastics Europe,” *Plastics Europe*. <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/recycling-technologies/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [6] Z. O. G. Schyns and M. P. Shaver, “Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review,” *Macromol. Rapid Commun.*, vol. 42, no. 3, p. 2000415, Feb. 2021, doi: 10.1002/marc.202000415.
- [7] “Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET or PETE),” *AZoCleantech.com*, Jul. 24, 2012. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=254> (accessed Feb. 24, 2023).
- [8] M. Shamsuyeva and H.-J. Endres, “Plastics in the Context of the Circular Economy and Sustainable Plastics Recycling: Comprehensive Review on Research Development, Standardisation and Market,” *Compos. Part C Open Access*, vol. 6, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2021.100168.
- [9] “About Chemical Recycling | Chemical Recycling Europe,” *ChemRecEurope*. <https://www.chemicalrecyclingeurope.eu/copy-of-about-chemical-recycling-1> (accessed Feb. 17, 2023).
- [10] B. P. Federation, “Chemical Recycling 101,” *British Plastics Federation*. <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx> (accessed Feb. 17, 2023).
- [11] “Accelerating Circular Supply Chains for Plastics,” Closed Loop Partners, 2021. Accessed: Feb. 17, 2023. [Online]. Available: [https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2021/01/CLP\\_Circular\\_Supply\\_Chains\\_for\\_Plastics\\_Updated.pdf](https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2021/01/CLP_Circular_Supply_Chains_for_Plastics_Updated.pdf)