



**GUÍA SOBRE APROVECHAMIENTO Y
REUTILIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS
SECUNDARIAS Y SUBPRODUCTOS.
REUTILIZACIÓN DE GRANZA DE PLÁSTICO
PROCEDENTE DE RECICLADORES DE
PLÁSTICO**





Dirigido por:

Financiado por:

cecale

NOS
IMPULSA



Asistencia Técnica

DEPÓSITOS Y RECICLADOS DEL NORTE, S.L.

Este trabajo se enmarca dentro de las actuaciones realizadas por CECALE en el contexto del < Acuerdo para promover una transición justa frente al cambio climático en 2018 – 2020 >, adoptado en el marco del Diálogo Social de Castilla y León





Contenido

Índice de figuras	4
Índice de tablas	5
Glosario	6
1. PRESENTACIÓN	7
1.1 Contexto/Introducción	7
1.2 Objetivo de la guía	8
2. INDUSTRIA DEL RECICLADO Y LA TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO	9
2.1 Situación actual del sector	9
2.3 Retos tecnológicos del sector	21
3. EL PROCESO DE RECICLADO	24
3.1 Introducción	24
3.2 Reciclado Mecánico	25
3.2.1 Descripción general del proceso de reciclado	25
3.2.2 Aspectos críticos a tener en cuenta en el reciclaje de plásticos	31
4. MATERIALES RECICLADOS Y SUS PROPIEDADES	33
4.1 Principales materiales plásticos reciclados utilizados en la actualidad	33
4.2 Técnicas de muestreo y caracterización	37
4.3 Normativa vigente para la caracterización de materiales reciclados	42
4.4 Control de calidad	48
5. UTILIZACIÓN DE GRANZA DE PLÁSTICO RECICLADO	50
5.1 Aplicaciones potenciales de cada material	51
5.2 Sectores de interés	53
5.3 Aspectos de mejora para una mayor implantación de los materiales reciclados en la industria	57
6. LEGISLACIÓN DE PRODUCTO CON MATERIAL RECICLADO	59
6.1 REACH y materiales reciclados	60
6.2 Plástico reciclado en el sector alimentario	64
6.3 Plástico reciclado en el sector eléctrico-electrónico	67
6.4 Plástico reciclado en el sector de la construcción	69
6.5 Plástico reciclado en el sector de la automoción	70
6.6 Plástico reciclado en el sector de las mercancías peligrosas	71
7. EXPERIENCIAS	74
7.1 Casos de éxito de utilización de granza de material reciclado en la industria	74
8. OPORTUNIDADES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO	82





Índice de figuras

Figura 1. Demanda total de los transformadores de plásticos en Europa	9
Figura 2. Demanda de plásticos por segmento y tipo de polímero en 2018. Total: 51,2 Mt	10
Figura 3. Ciclo de vida de los plásticos	11
Figura 4. Tratamiento de los residuos plásticos en España en 2018	12
Figura 5. Evolución de 2006 a 2008 del tratamiento de residuos plásticos post-consumo en España	12
Figura 6. Índices de reciclaje, recuperación energética y depósito en vertedero de residuos plásticos post-consumo por países en 2018.....	13
Figura 7. Evolución de la capacidad de reprocesado de PET en Europa	14
Figura 8. Mercados para el PET reciclado en Europa en 2018	15
Figura 9. Capacidad de reciclaje anual en Europa en kt de film de PE	16
Figura 10. Contenido de materia prima reciclada en aplicaciones no alimentarias.....	17
Figura 11. Barreras y Oportunidades del sector	21
Figura 12. Retos tecnológicos del sector	23
Figura 13. Importancia de la recogida selectiva en el reciclaje de plásticos	24
Figura 14. Esquema general del proceso de reciclaje	25
Figura 15. Esquema del proceso de reciclado mecánico.....	26
Figura 16. Esquema de tecnologías de segregación de residuos plásticos	28
Figura 17. Estructura química del PET	33
Figura 18. Estructura química del PE.....	34
Figura 19. Estructura química del PP.....	35
Figura 20. Estructura química del PVC	36
Figura 21. Estructura química del PS.....	37
Figura 22. Posición de toma de muestras	38
Figura 23. Instrumentos de toma de muestra en el eje central y en el lateral de la saca de material	38
Figura 24. Espectros de FTIR de los plásticos más comunes: 1) PET, 2) HDPE, 3) PVC, 4) LDPE, 5) PP, 6) PS, 7) Otros: PA y PC.....	39
Figura 25. Sellos de marcado del PE reciclado según la norma UNE 53978*	46
Figura 26. Sellos de marcado del PP reciclado según la norma UNE 53972*	47
Figura 27. Sello de certificación de Eucertplast.....	49
Figura 28. Sello de certificación de Recyclclass.....	49
Figura 29. Pictogramas de materiales plásticos reciclables	50
Figura 30. Principales aplicaciones de los plásticos reciclados.....	51
Figura 31. Mercados de destino final de las materias primas recicladas	53
Figura 32. Aplicaciones en el sector de la construcción	54
Figura 33. Aplicaciones en el sector del envase y embalaje.....	55
Figura 34. Aplicaciones en el sector de la agricultura	55
Figura 35. Aplicaciones en otros sectores de interés	56
Figura 36. Líneas de actuación necesarias para el desarrollo del potencial de los plásticos reciclados	58
Figura 37. Representación gráfica de la aplicabilidad del REACH y las Regulaciones FCM en plásticos (reciclados) a lo largo de todo el ciclo de vida	61
Figura 38. Monturas de gafas fabricadas a partir de granza de residuos plásticos procedentes de los océanos	74
Figura 39. Granza de LDPE reciclado procedente de la industria papelera.....	75
Figura 40. Bolsa flexible fabricada a partir de la granza de LDPE reciclado de la industria papelera	75
Figura 41. Separador de carril bici ZEBRA.....	76





Figura 42. Monopatín y juego de mesa fabricados con granza de material reciclado 77

Figura 43. Proceso de fabricación de la empresa Bureo partiendo de redes de pesca 77

Figura 44. Proceso de fabricación de muebles partiendo de PET reciclado de la empresa VEPA 78

Figura 45. Filamento de ABS/PC reciclado y macetas fabricadas con el mismo 79

Figura 46. Proceso de fabricación de filamento de material reciclado 79

Figura 47. Silla fabricada a partir de granza de Nylon 80

Figura 48. Parque infantil fabricado con material reciclado procedente del contenedor amarillo 80

Figura 49. Mobiliario urbano fabricado con material plástico reciclado 81

Figura 50. Proceso de fabricación de juguetes partiendo de granza de rLDPE y Rpp 81

Figura 51. Aumento potencial del PET enviado para su reprocesamiento en 2030 84

Figura 52. Líneas de actuación para mejorar el reciclaje del PET 86

Figura 53. Esquema de Reciclaje de PE flexible 87

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades generales del PET 33

Tabla 2. Propiedades generales del LDPE y HDPE 34

Tabla 3. Propiedades generales de un PP homopolímero 35

Tabla 4. Propiedades generales de un compuesto de PVC 35

Tabla 5. Propiedades generales de un PS 37

Tabla 6. Densidad de plásticos comunes 41

Tabla 7. Tipos de material de PE reciclado indicados en la norma UNE 53978* 45

Tabla 8. Tipos de material de PP reciclado sin refuerzo indicados en la norma UNE 53972* 47

Tabla 9. Tipos de material de PP reciclado con refuerzo indicados en la norma UNE 53972* 47

Tabla 10. Disposiciones aplicables a materiales en contacto con alimentos 64

Tabla 11. Guías interpretativas 67

Tabla 12. Restricciones de uso de sustancias en los RAEE 69

Tabla 13. Restricciones de uso de sustancias en los vehículos 71





Glosario

AECOSAN	Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición
AEE	Aparatos eléctricos y electrónicos
AESA	Asociación Española de Seguridad Alimentaria
CLP	Reglamento (CE) n.º 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas
DIOP	Diisooctil ftalato (plastificante)
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
EPS	Poliestireno expandido
FCM	Material en contacto con alimentos (<i>Food Contact Material</i>)
FTIR	Espectroscopía infrarroja
HDPE	Polietileno de alta densidad
LDPE	Polietileno de baja densidad
NIR	Infrarrojo cercano (espectroscopía)
p.h.r.	Peso referido a 100 gramos de polímero (<i>per hundred resin</i>)
PA	Poliamidas
PE	Polietileno
PET	Polietileno tereftalato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloruro de vinilo
RAEE	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
SDS	Ficha de datos de seguridad
T_c	Temperatura de cristalización
T_g	Temperatura de transición vítrea
T_m	Temperatura de fusión
UE	Unión Europea
VIS	Visible (espectroscopía)





1. PRESENTACIÓN

1.1 Contexto/Introducción

La Unión Europea ha marcado el reciclaje de residuos plásticos como uno de los hitos del Plan de Acción de Economía Circular. La finalidad es ayudar tanto a fabricantes como consumidores hacia un uso más sostenible de los recursos. Específicamente, en la Estrategia Europea para Plásticos dentro de la Economía Circular, adoptada en 2018, se plantea una transformación en la manera en que los productos plásticos son diseñados, fabricados, utilizados y reciclados en Europa. Los objetivos son un diseño mejorado de los productos, mayores tasas de reciclabilidad de los residuos plásticos, y materiales plásticos reciclados de mayor calidad y valor añadido, que en definitiva contribuyan a fortalecer el mercado europeo del sector del reciclado.

Bajo este paraguas, el sector del reciclado de materiales plásticos crece cada año de manera sostenida. En 2018, se recogieron en Europa 29,1 millones de toneladas de residuos plásticos, un 19 % más que en 2006. Asimismo, desde 2016 hasta 2018 se ha multiplicado por dos la cantidad de residuos plásticos enviados a plantas de reciclaje, mientras que la producción total de materiales reciclados en Europa alcanza casi 5 millones de toneladas en ese mismo año.

El crecimiento actual y futuro de este sector recaerá sobre varios factores. En primer lugar, una legislación común que incentive el incremento de la tasa de reciclabilidad contribuirá a fortalecer el sector. Actualmente, países como Suiza, Austria, Bélgica, Suecia y Noruega aplican restricciones al uso de vertederos para la disposición final de residuos plásticos. Por otra parte, los consumidores son cada vez más conscientes de las implicaciones medioambientales de los productos que consumen y son más exigentes con las marcas en la búsqueda de productos más sostenibles, lo que lleva a los diseñadores a prestar cada vez más atención a estrategias de ecodiseño que garanticen la reciclabilidad posterior de nuevos productos desarrollados.

De igual manera, los avances tecnológicos actuales en los sistemas de gestión y recolección de residuos, así como en los procesos de segregación posteriores, contribuyen a que el tratamiento de los residuos plásticos sea más preciso y eficiente, y por tanto a que la calidad de los materiales reciclados aumente. Los desarrollos y mejoras en las tecnologías de reciclado permiten obtener materiales de mayor calidad que puedan ser utilizados en mayor número de aplicaciones. Por otra parte, el fomento de sistemas estandarizados de evaluación y certificación de los procesos y productos en toda la Comunidad Europea contribuirá a producir una oferta armonizada de materiales reciclados de propiedades específicas que incrementará la confianza de los fabricantes en usar este tipo de materiales en sus productos.

Todo lo anterior pone de relieve la existencia de retos claves que se deberán afrontar para fortalecer el sector de reciclados plásticos. Esta guía contempla la información más relevante en relación al reciclado mecánico de residuos plásticos y las materias primas recicladas derivadas, poniendo especial atención en los procesos de reciclado, las normativas vigentes, la legislación relacionada y diferentes casos de éxito, los cuales auguran un potencial crecimiento del sector en el futuro.





1.2 Objetivo de la guía

El objetivo principal de esta guía es dotar a las empresas del sector de la transformación del plástico de la información más completa relacionada con el sector del reciclado de materiales plásticos, a fin de que puedan tomar decisiones adecuadas en relación a la selección de metodologías, procesos y productos. Asimismo, tiene como finalidad aportar conocimientos que contribuyan al desarrollo de productos plásticos de mayor calidad y sostenibles, así como facilitar a las empresas la transición hacia el uso de materias primas de segundo uso, con los beneficios ambientales y económicos que eso supone, contribuyendo así a aumentar su competitividad.





2. INDUSTRIA DEL RECICLADO Y LA TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO

2.1 Situación actual del sector^{1,2,3,4}

El sector de la producción y transformación del plástico en Europa ocupa la séptima posición en lo que se refiere a la contribución al valor añadido industrial, muy cerca de la industria química y farmacéutica. Según el último informe de *Plastic Europe* de 2019, este sector aporta 1,6 millones de puestos de trabajo repartidos en 60.000 empresas, en su mayoría PYMES, y genera un volumen de negocio de más de 360.000 millones de euros. En 2018, Europa produjo 62 millones de toneladas de plástico de las 360 millones de toneladas que se produjeron a nivel mundial. Esto representa un volumen del 17 %, similar al 18 % de Norteamérica pero por detrás del 51 % del mercado asiático (de éste solo el 30 % corresponde a China). Por otra parte la demanda actual de materia prima plástica en Europa alcanza 51,2 millones de toneladas, siendo los sectores de envases y embalajes (39,9%), el de la construcción (19,8%) y el de la automoción (9,9%) los que representan los mayores mercados de uso final.



Figura 1. Demanda total de los transformadores de plásticos en Europa

Fuente: Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe

¹ Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe

² <https://www.plasticsrecyclers.eu/plastics-recyclers-publications>

³ <https://www.plasticstoday.com/mechanical-recycling/solid-growth-projected-recycled-plastics-market>

⁴ Cifras y datos clave de los plásticos y su reciclado en España, 2018 de Cicloplast





Figura 2. Demanda de plásticos por segmento y tipo de polímero en 2018. Total: 51,2 Mt
 Fuente: Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe

Las cifras anteriores vienen a demostrar la magnitud que representa el sector de la transformación del plástico en Europa y lo que implica tanto para la gestión de los residuos de este sector como para la generación de un mercado secundario en potencia como lo es el de los plásticos reciclados.

En general, los materiales plásticos reciclados provienen de dos fuentes principales: residuos post-industriales y residuos-post consumo. El residuo post-industrial es aquel que se genera en procesos productivos dentro de la industria manufacturera y que está relacionado con la puesta en marcha de líneas de producción, piezas defectuosas o no conformes, o remanentes, entre otros. Este residuo es generalmente triturado e incorporado nuevamente con material virgen en la cadena productiva, en un porcentaje tal que la calidad final del producto no se ve afectada. El residuo post-industrial es limpio y de gran calidad, por lo que es uno de los residuos de más interés para los recicladores. Por otra parte, el residuo plástico post-consumo es aquel recogido por los gestores de residuos municipales. La disposición de estos residuos puede realizarse de tres maneras diferentes: mediante reciclaje, es decir, el residuo es enviado a las plantas de reciclaje para su separación, tratamiento, lavado y reciclado; revalorización mediante recuperación energética o disponerlo directamente en vertederos.





Aunque es difícil garantizar la calidad de los residuos plásticos post-consumo, se prefiere el reciclaje como la mejor opción de revalorización ya que los productos fabricados en plástico tienen una vida útil que puede oscilar entre menos de 1 año y 50 años. Tanto los productos reciclados como la energía recuperada vuelven al proceso productivo, cerrando el ciclo (ver Figura 3).

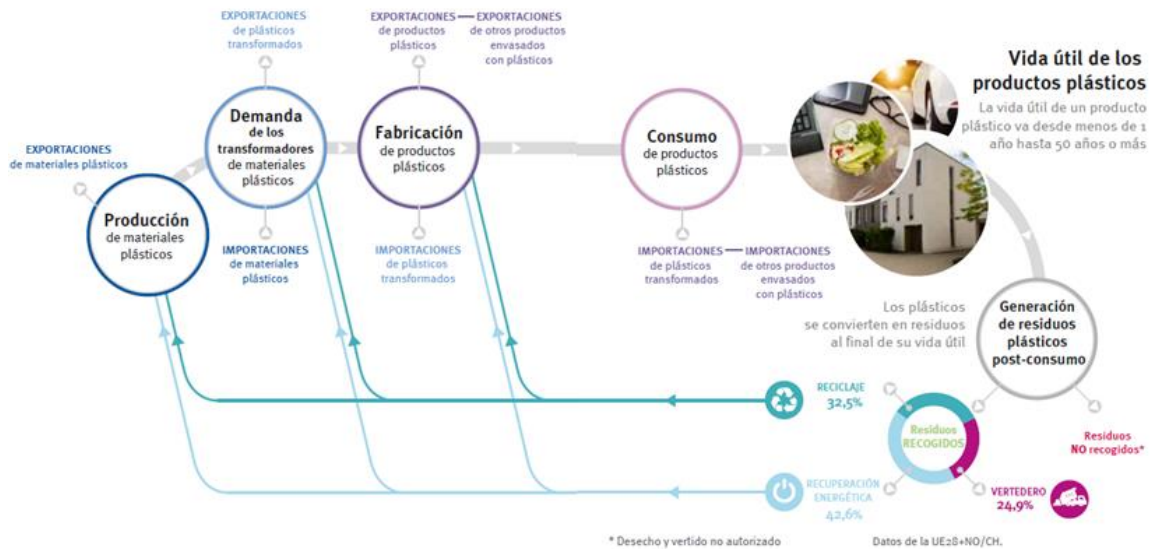


Figura 3. Ciclo de vida de los plásticos

Fuente: Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe

El mercado actual de los plásticos reciclados presenta un sólido crecimiento gracias a la mayor demanda para este tipo de materiales de segundo uso, producto de una mayor consciencia de la preservación de los recursos, así como también de la preocupación creciente por los problemas medioambientales que causa una disposición inadecuada de residuos plásticos de material virgen. Las expectativas de crecimiento del sector se sitúan en torno a un 6,8 %, alcanzando una cuota de mercado de 66,73 billones para 2025. Norteamérica es una de las regiones líderes para este sector.

Según el último reporte de *Plastic Europe* sobre la situación de los plásticos (2019), se recogieron un total de 29,1 millones de toneladas de residuos plásticos post-consumo en toda Europa en el año 2018, de los cuales 9,4 millones de toneladas (un 32,5 %) fueron destinadas a su reciclaje dentro y fuera de la Unión Europea. El volumen restante fue destinado a recuperación energética (42,6 %) o directamente a vertedero (24,9 %). En España, la cifra de residuos plásticos recogidos post consumo se encuentra en 2,6 millones de toneladas, de los cuales 41,9 % fueron destinados a su reciclaje, superando la media europea.



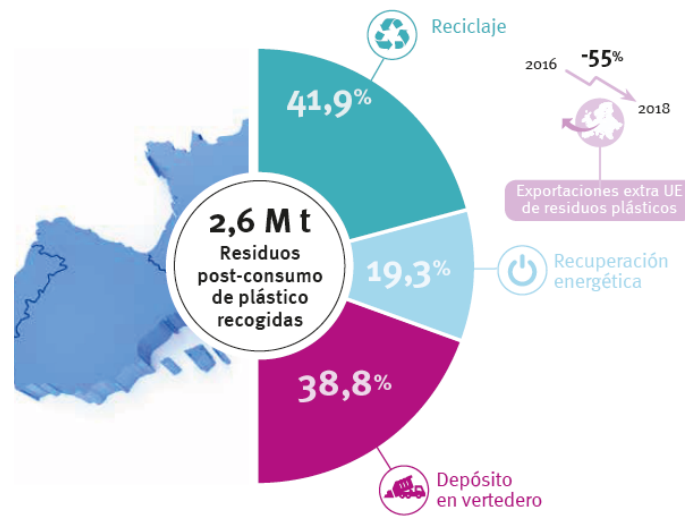


Figura 4. Tratamiento de los residuos plásticos en España en 2018

Fuente: Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe

La evolución de la gestión de los residuos plásticos en España es sostenida y favorable ya que desde 2006 hasta 2018 se ha duplicado la cantidad de residuos plásticos post-consumo recogidos para su reciclaje (x 2,3). Aunque el porcentaje de residuos destinados a vertedero se ha reducido en un 41 % en el mismo período, en 2018 se enviaron casi un millón de toneladas de estos residuos, un 38,8 % (ver figura Figura 4 y Figura 5), lo cual es un valor que está por encima de la media europea que se establece en 24,9 %.

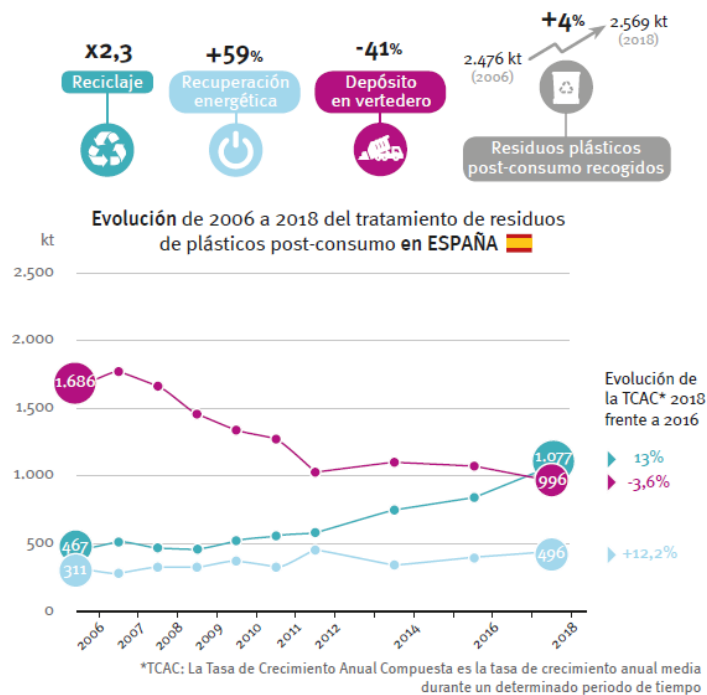


Figura 5. Evolución de 2006 a 2018 del tratamiento de residuos plásticos post-consumo en España

Fuente: Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe





Aun así, España y el conjunto de la Unión Europea caminan hacia mejorar la gestión de los residuos plásticos en toda el área. Muchos países aplican restricciones al depósito en vertederos con la finalidad de incentivar el reciclaje y otras formas de revalorización. Entre el reciclaje y la recuperación energética siempre será más interesante la primera opción ya que permite el aprovechamiento de los recursos materiales para destinarlos a otras cadenas de valor. En este sentido, España se encuentra entre los países líderes con mayor índice de reciclaje, en torno al 40 %, junto con Noruega, Francia y Suecia (ver Figura 6).

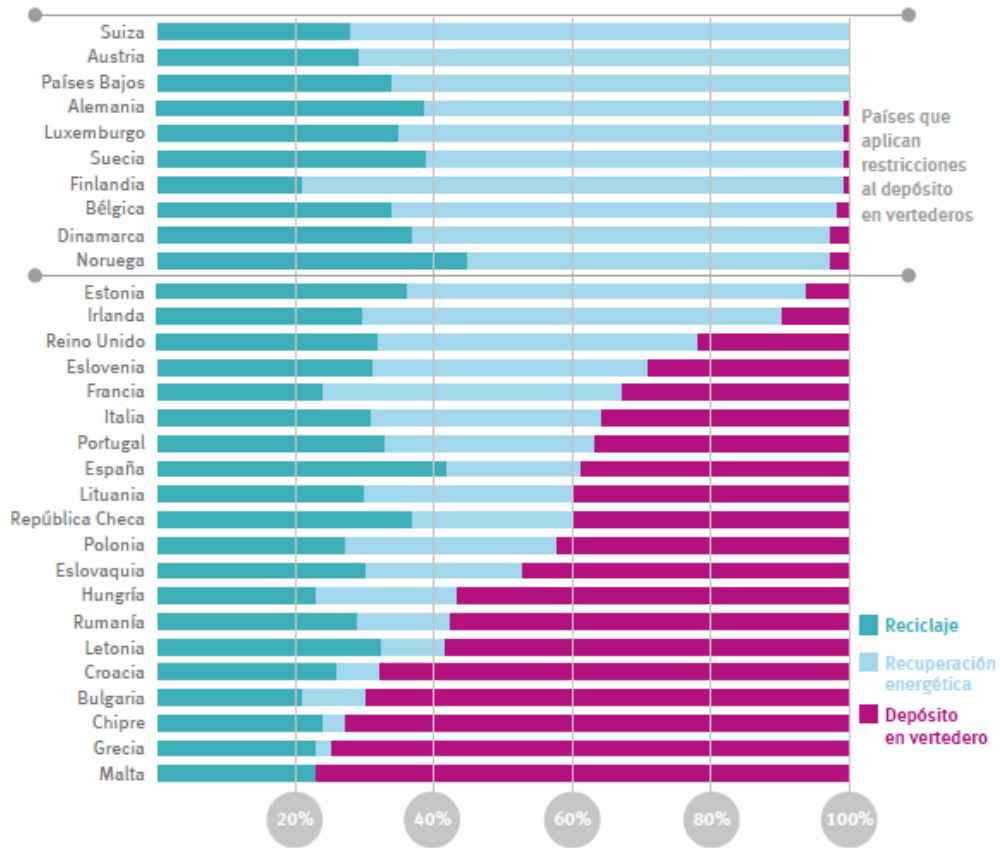


Figura 6. Índices de reciclaje, recuperación energética y depósito en vertedero de residuos plásticos post-consumo por países en 2018

Fuente: Plásticos – Situación en 2019 informe de Plastics Europe

Como se comentó anteriormente, unos 9,4 millones de toneladas de residuos plásticos post-consumo son recogidas para reciclar en la Unión Europea. De este monto, en torno a 4,9 millones de toneladas se convierten en materia prima reciclada que se utiliza en nuevos productos. Entre los diferentes plásticos que son reciclados se encuentran el polietileno tereftalato (PET), el polietileno (HDPE y LDPE), el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS) y el polipropileno (PP). El PET es uno de los de mayor consumo y constituye el principal plástico reciclado en la actualidad. Contempla la mayor cuota de mercado del sector de los plásticos reciclados y con mayor expectativa de crecimiento gracias a su fácil recolección y reciclabilidad. Le siguen en importancia el HDPE y LDPE y el PVC.





- *Mercado del PET reciclado*⁵

La producción y la demanda de PET presentan una tendencia al alza a largo plazo, especialmente para los grados de PET de alta viscosidad. Actualmente, la demanda de PET en la Unión Europea supera la producción en la región. En 2018, solo se cubría el 70 % de la demanda. El mercado principal para este plástico es el del envase y embalaje, dentro del cual se incluyen botellas, bandejas y envases flexibles como las principales aplicaciones. Se estima que en 2018 se destinaron 3,4 y 0,9 millones de toneladas de PET para botellas y bandejas, respectivamente (esto representa un 71 y 19 % del total).

Dado que la aplicación principal del PET es en artículos de un solo uso y que son desechados rápidamente, se estima que prácticamente toda la producción de envase rígido de PET está disponible para ser destinada al reciclaje. En 2018, 1,9 millones de toneladas de residuos de PET fueron recogidos y separados para ser reciclados en toda Europa, principalmente procedente de botellas. Esto representa un 45 % de la producción total. Desde 2013 hasta 2018 se ha observado un incremento de un 5 % en la tasa de residuos de PET recogidos para ser reciclados.

El mercado del plástico de PET reciclado es uno de los más sólidos. En 2018 se produjeron en Europa 1,35 millones de toneladas de PET reciclado, siendo Alemania (23%), Francia (14%), Italia (14%) y España (14%) los países como mayor producción. Entre los cuatro representan el 65 % de la producción total de la Unión Europea, que a su vez es capaz de absorber hasta 2,2 millones de toneladas de residuos plásticos de PET. Entre 2014 y 2018 se observa un crecimiento sostenido en la recogida de residuos y en la producción de PET reciclado. Actualmente, se emplea hasta un 86,6 % de la capacidad productiva de la región (ver Figura 7).

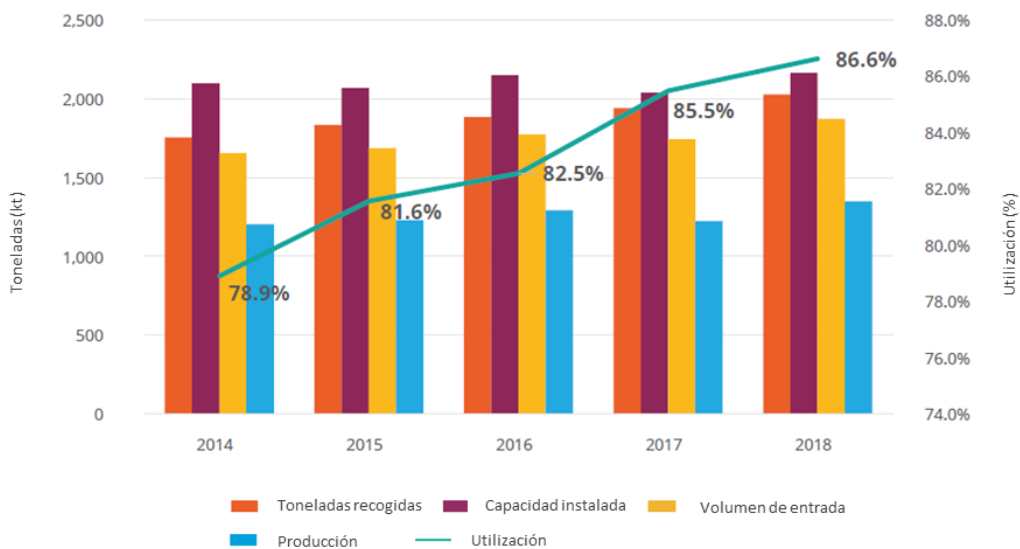


Figura 7. Evolución de la capacidad de reprocesado de PET en Europa
Fuente: PET Market in Europe, Stay of Play Plastic Recyclers Europe, 2020

⁵ PET Market in Europe, Stay of Play Plastic Recyclers Europe, 2020





Las aplicaciones finales para el PET reciclado abarcan productos para envases en contacto con alimentos como botellas, bandejas, láminas. Esto representa casi un 60 % de la producción (ver Figura 8), mientras que un 25 % se destina a fibras recicladas, entre otros.

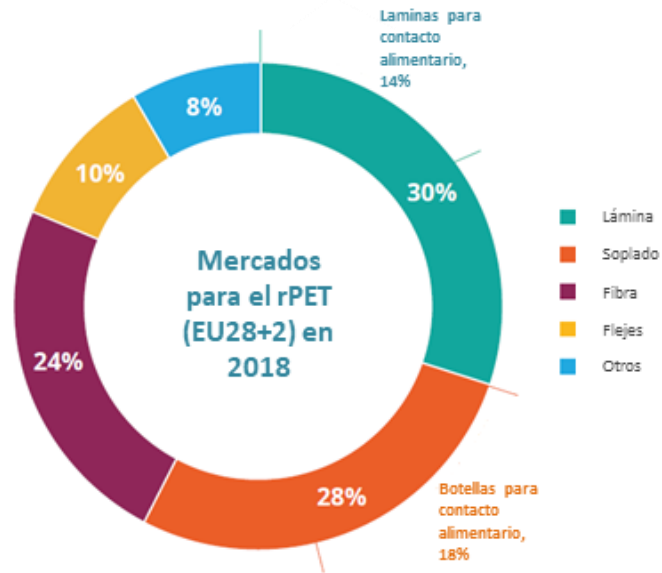


Figura 8. Mercados para el PET reciclado en Europa en 2018
Fuente: PET Market in Europe, Stay of Play Plastic Recyclers Europe, 2020

- Mercado del film de PE reciclado^{6,7}

El polietileno de baja densidad (LDPE) es el plástico más utilizado en el sector del envase flexible tipo film. Es un producto ligero y versátil que se emplea principalmente en el envasado de alimentos (23%), seguido de films estirables (18 %) y films agrícolas (7 %), entre otros. Otras aplicaciones incluyen envases para productos de cuidado personal, tubos, etc. La demanda europea de LDPE se encuentra en torno al 17,5 %, solo por debajo del PP.

La capacidad instalada para el reciclaje de film de LDPE en Europa se ha incrementado significativamente en los últimos años. Entre 2015 y 2018 se observó un incremento de un 66 %, pasando de 1,5 a 2,5 millones de toneladas, siendo Alemania, Italia y España los países que cuentan con mayor capacidad (ver Figura 9).

Los residuos que más se reciclan son los que provienen del envase, del proceso productivo y del sector agrícola. España, con un 18 %, encabeza la lista de países europeos con mayores tasas de reciclaje de LDPE, seguido de Alemania (17 %), Italia (13 %), Polonia (10 %) y Francia (6 %). En 2018, se recicló en Europa el 70 % del film de PE flexible recolectado para ese fin, y se espera que este valor se incremente a medida que el diseño de los productos sea más acorde con su

⁶ Flexible polyethylene recycling in Europe, Plastics Recyclers Europe, 2019.

⁷ Flexible films market in Europe, State of play, Plastic Recyclers Europe, 2020





reciclabilidad y se implementen mejoras tecnológicas en los procesos de segregación y reprocesado.

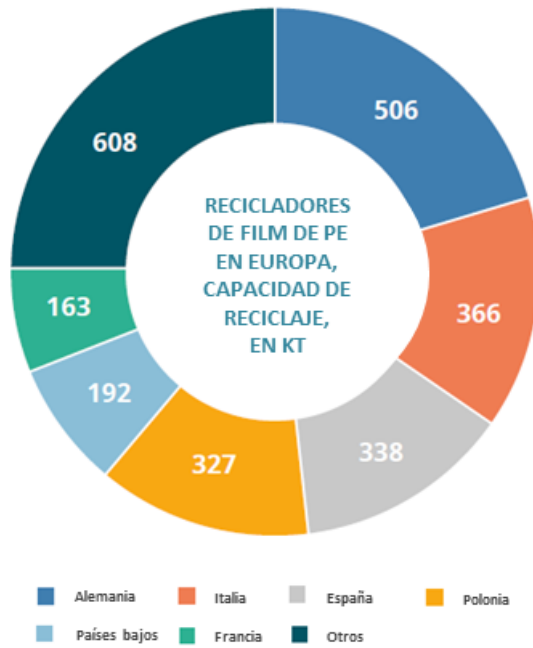


Figura 9. Capacidad de reciclaje anual en Europa en kt de film de PE

Fuente: Flexible polyethylene recycling in Europe, Plastics Recyclers Europe, 2019

La tendencia actual es hacia un mayor uso de materiales plásticos reciclados a medida que aumenta su uso en otro tipo de sectores industriales como el de la construcción, el agrícola y el de la automoción, que se encontraban a su vez en crecimiento antes de que irrumpiera la pandemia del coronavirus en la economía. Como se observa en la Figura 10, aunque las aplicaciones de bolsas y sacos son las que más incorporan un alto contenido de material reciclado, otros sectores ya comienzan a incorporar materia prima reciclada en sus productos.



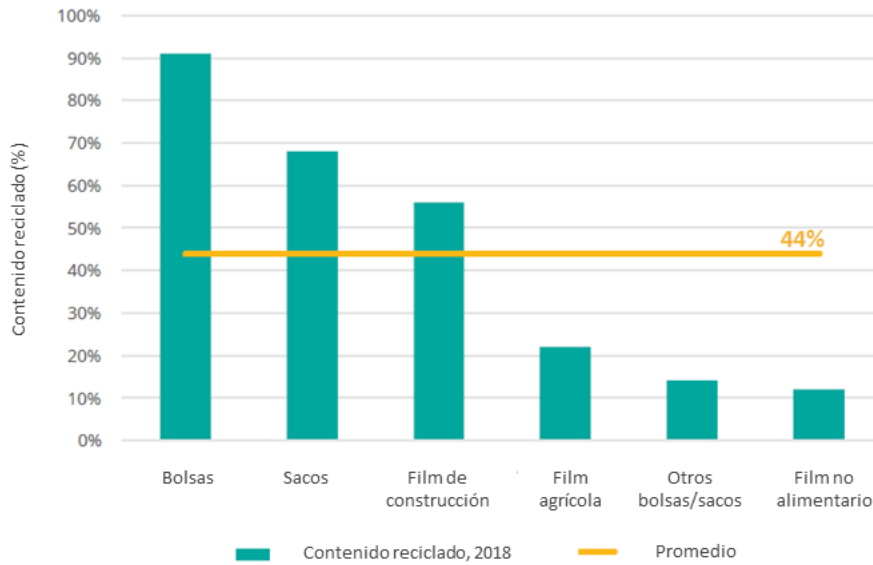


Figura 10. Contenido de materia prima reciclada en aplicaciones no alimentarias
Fuente: Flexible films market in Europe, State of play, Plastic Recyclers Europe, 2020

La sociedad observa con buenos ojos que las marcas intenten mejorar la sostenibilidad de sus productos mediante la incorporación de menor cantidad de materias primas vírgenes. Esto sin duda incrementará en el futuro la demanda de materiales plásticos reciclados.

2.2 Barreras y oportunidades⁸

Barreras

1. Envases y productos plásticos cada vez más complejos

Con el avance de las tecnologías de transformación de plásticos y la creciente demanda de propiedades diseñadas a medida, crece el número de aplicaciones y cada vez es mayor la complejidad de los productos y envases plásticos.

Los diseños se hacen cada vez más complejos incorporando diversos materiales plásticos que individualmente tienen propiedades muy diferentes entre sí. En envases multicapa, por ejemplo, se emplean diferentes capas, cada una de un polímero diferente. Cuando un producto contiene una mezcla de polímeros se hace muy difícil su reciclabilidad ya que los recicladores no son capaces de separar sus componentes de manera efectiva, limitando la posibilidad de producir reciclados de alta calidad.

Los diseñadores de producto deben tener en cuenta la compatibilidad entre los diferentes materiales con miras a su potencial reciclabilidad en el fin de vida. Teniendo en cuenta estos

⁸ <https://www.plasticsrecyclers.eu/challenges-and-opportunities>





aspectos, incluso envases plásticos complejos podrían ser reciclables bajo un esquema de economía circular.

2. El uso continuado de vertederos para la disposición final de residuos plásticos

En la actualidad, son muchos los residuos plásticos con potencial de ser reciclados que acaban en vertederos, impidiendo de esta manera que puedan ser reintroducidos en nuevos productos y cadenas de valor.

A nivel europeo se impulsa cada vez más la prohibición definitiva del uso de vertederos para la gestión de residuos plásticos, aunque esto aún no ha sido logrado del todo. Esta iniciativa es absolutamente necesaria si se quieren alcanzar mejores indicadores en el sector de reciclado de materiales plásticos y promover una verdadera protección del medio ambiente.

El uso de vertederos es una de las opciones de fin de vida menos deseada ya que la acumulación de materiales genera gases y toxinas que contaminan tanto el suelo como las corrientes acuíferas. Desafortunadamente, son muchos los países que aún continúan empleando esta opción para la gestión de sus residuos en lugar de emplearlos como fuente de recursos para otros productos.

3. Alta exportación de residuos a terceros países

Los residuos plásticos que no son gestionados en Europa son exportados a países en desarrollo en los que podrían ser procesados sin aplicar las condiciones y los estándares de calidad adecuados. Sin embargo, la alta exportación de residuos impide el crecimiento y el fortalecimiento del mercado del reciclado europeo.

4. Alta variabilidad en la calidad de los residuos plásticos de partida

En la actualidad, los esquemas de recogida y separación de residuos de los países europeos no se encuentran estandarizados. Esto constituye un problema para los recicladores ya que tienen que llevar a cabo el proceso de reciclaje en corrientes de residuos muy heterogéneas que pueden no haber sido separadas adecuadamente afectando la calidad de los residuos de partida.

Esta variabilidad dificulta que los recicladores puedan aportar al mercado materia prima reciclada con un nivel de calidad homogéneo y de manera contante. Estas incertidumbres de calidad en las cadenas de suministro hacen dudar a los transformadores sobre el uso de este tipo de materia prima en la fabricación de sus productos.

Por tanto, se hace necesario introducir un marco europeo común de estandarización y esquemas de certificación tanto para la recolección y clasificación de residuos plásticos como para la posterior producción de reciclados. Esto sin duda contribuirá a resolver las incertidumbres en cuanto a calidad y cantidad de los materiales disponibles y, en consecuencia, a fortalecer el mercado de los materiales reciclados secundarios y sus productos.





5. *Monitorización inadecuada y no estandarizada de las propiedades de los materiales plásticos*

La industria europea de reciclaje de plásticos no cuenta con niveles de trazabilidad y transparencia suficientes para garantizar materiales reciclados de calidad. Las corrientes de residuos plásticos y sus reciclados no son adecuadamente monitorizadas.

Un rastreo adecuado de la fuente de materiales reciclados y sus propiedades a lo largo de toda la cadena del proceso, desde la recogida y recepción del residuo hasta la fabricación del producto final reciclado, permitirá aumentar la confianza de los transformadores en esta fuente de materia prima.

Es necesario que esta monitorización se haga bajo un esquema común en toda Europa y para ello se proponen esquemas de certificación que permitan incrementar la trazabilidad y la transparencia del mercado de los materiales plásticos reciclados, de tal manera que se puedan implementar buenas prácticas y altos estándares que conlleven a productos reciclados y certificados de mayor calidad.

6. *Imagen negativa e inquietudes hacia el uso de materiales reciclados en el sector salud, sanitario, alimentario y cosmético*

El uso de materiales plásticos reciclados en nuevas aplicaciones de estos sectores se ha visto limitado por una percepción negativa de la calidad de estos materiales y las implicaciones para la salud que puede tener el uso de un porcentaje de material reciclado.

Es de opinión generalizada que los plásticos reciclados tienen una calidad inferior a la de los materiales vírgenes. Sin embargo, muchos polímeros pueden ser reciclados en múltiples ocasiones antes de observarse un decaimiento de las propiedades originales. Adicionalmente, las nuevas tecnologías de recogida, separación y reciclaje permitirán incrementar la calidad de los plásticos reciclados.

Aunque ya existen materiales reciclados aprobados por las autoridades europeas para ser utilizados en contacto con alimentos, la ausencia de una legislación europea común en este ámbito dificulta el fortalecimiento del mercado, y causa a su vez, confusión, incertidumbre y desconfianza.

Oportunidades

1. *Mercado de materiales secundarios completamente funcional*

Un mercado de materiales reciclados fuerte, sólido y transparente permitirá mejorar la competitividad de estos materiales frente a la materia prima virgen, y a su vez impulsará tanto la recogida y el reciclaje de plásticos como el uso de reciclados en productos terminados. Para ello es necesario introducir estandarizaciones y certificaciones, además de incentivos económicos que estimulen la expansión y el fortalecimiento del mercado de plásticos reciclados de una manera armonizada.





2. Mayor conciencia medioambiental entre compañías y consumidores

En la actualidad es cada vez mayor la conciencia que tanto empresas como público en general tienen de la problemática medioambiental causada por la contaminación por plásticos. Los consumidores finales son cada vez más exigentes hacia opciones poco sostenibles y hacen un duro escrutinio hacia productos plásticos no reciclables y hacia el manejo inadecuado de los residuos de los mismos. Esta conciencia creciente que favorece el consumo de productos plásticos amigables con el medio ambiente, incrementará la demanda de productos que contengan parte de materia prima reciclada y que a su vez sean en sí mismo reciclables, al punto de sustituir aplicaciones fabricadas íntegramente con materiales vírgenes.

3. Implementación del diseño para reciclabilidad y el uso de plásticos reciclados por las marcas de consumo masivo

Grandes marcas son cada vez más conscientes de que el diseño de sus productos puede afectar su reciclabilidad posterior. Adicionalmente, el uso de materiales reciclados puede impulsar la imagen de responsabilidad social de la corporación. Por este motivo, cada día son más las empresas que se suman a incorporar el concepto de reciclabilidad en el diseño inicial de sus productos, así como materia prima reciclada para su fabricación. Diseños menos complejos de los productos fabricados en plástico permitirán mejorar su vida útil y su reciclabilidad, lo cual en última instancia contribuirá a reducir los costes asociados al ciclo de vida de los productos (*Extended Producer Responsibility*).

4. Esquemas de recogida y separación de calidad

En Europa, cada gestor de residuos opera bajo criterios y estándares propios, lo cual dificulta a los recicladores cumplir con criterios de calidad de producto de mayor exigencia y estandarizados en todo el sector. Afortunadamente, la cantidad de residuos y la calidad de la separación de los mismos se han venido incrementando en los últimos años. Este es uno de los pasos fundamentales en la cadena de la economía circular y es imprescindible para aumentar la tasa de reciclaje de plásticos en toda Europa. El aumento de las capacidades de las plantas de reciclaje y las mejoras tecnológicas en los procesos de separación aunado a un marco estandarizado de la gestión y calidad de los reciclados permitirá aumentar la confianza de los transformadores en esta materia prima que ha sido reciclada con los mayores estándares de calidad. En última instancia, esto contribuirá a impulsar el mercado para el sector de productos plásticos que contienen materia prima reciclada.

5. Estándares de certificación existentes

Ya existen diversos estándares y esquemas de certificación en materia de reciclaje y plásticos reciclados. Los estándares indican las mejores prácticas y orientan a las empresas del sector sobre como operar de tal manera que los residuos plásticos puedan ser tratados adecuadamente y que los materiales reciclados obtenidos sean de alta calidad. Adicionalmente, las certificaciones contribuyen a generar confianza entre los consumidores finales, impulsando la demanda de productos certificados. El siguiente paso es sin duda conseguir armonizar los





diferentes estándares existentes en un marco europeo común que permita facilitar y expandir el intercambio comercial de estos productos.

6. Efectos medioambientales positivos gracias a un modelo de economía circular

Entre estos efectos se encuentran la preservación de recursos naturales, la reducción de la dependencia de Europa en las importaciones y el impulso en la creación de industrias más limpias, puestos de trabajo, nuevas inversiones y desarrollos tecnológicos. En números, estos efectos se traducen en 50.000 nuevos empleos directos en el sector de la gestión de residuos y reciclado de plásticos para 2020, y en otros 80.000 para 2025. A lo anterior se suman unos 75.000 puestos de trabajo indirectos que serían creados en 2020 en los sectores de investigación y desarrollo, manufactura de equipos, entre otros. Esta cifra podría aumentar hasta 120.000 para 2025, aunque también podría verse afectada por la crisis socio-económica ocasionada por la pandemia del Covid-19.



Figura 11. Barreras y Oportunidades del sector

2.3 Retos tecnológicos del sector⁹

La investigación y desarrollo está enfocada a proveer mejoras continuas en los procesos de reciclado, solucionar problemas de reciclabilidad y revalorización materiales complejos, y optimizar los procesos de recolección, segregación y reprocesado hacia una economía circular plena.

- *Diseño para reciclabilidad*

Nuevos esquemas de diseño de productos deben impulsarse con la finalidad de crear envases que sean pensados para ser reciclables desde su concepción. Para ello se trabaja en establecer

⁹ PET market in Europe: State of play. Plastic Recycling Europe, PETCORE Europe y EFBW, 2019





guías y criterios de reciclabilidad que puedan ser adoptados por los productores con la finalidad de que los procesos de recolección y segregación tengan una mayor viabilidad económica. Actualmente, existen varias plataformas asociativas (e.j. RecyClass) que han publicado guías de diseño para reciclabilidad para botellas, bandejas, entre otros.

Entre los aspectos a considerar se encuentran, la aplicación, el color (es decir si son transparentes, opacos o coloreados), la presencia de adhesivos, etiquetas, si el producto está fabricado con un solo material (monomaterial) o varios (multicapas, multimateriales, etc.), o la inclusión de marcadores para facilitar la segregación, entre otros.

- *Segregación*

Los desarrollos actuales continúan en mejorar la velocidad y la precisión de los sistemas automatizados de segregación con opciones tecnológicas que aporten una viabilidad económica real frente a los flujos de residuos a ser segregados. Las tecnologías actuales basadas en espectroscopía VIS y NIR buscan mejorar su precisión para ya no solo diferenciar entre diferentes plásticos sino además detectar aditivos orgánicos presentes.

Automatizar procesos de selección y segregación que actualmente se realizan manualmente es otro de los retos, para lo cual nuevos desarrollos en algoritmos basados en inteligencia artificial se están llevando a cabo con la finalidad de llevar a cabo procesos de selección más inteligentes y precisos, que en definitiva mejorarán la calidad de los reciclados y permitirán descartar aquellos residuos problemáticos para ser reciclados.

Las tecnologías de segregación inteligente buscan que se incluya en los productos diferentes opciones de marcaje como los marcadores UV, que permitan rastrear y segregar productos de color negro (es el caso de las bandejas de PET de color negro) o productos procedentes de aplicaciones de contacto con alimentos (botellas, bandejas).

- *Reciclado mecánico*

El desarrollo de las tecnologías de reciclado mecánico “super limpias” es otro de los retos tecnológicos del sector en la actualidad. El objetivo es que sean capaces de descontaminar el PET reciclado para que se viable su utilización en aplicaciones de contacto alimentario.

Otro de los retos es mejorar los dispositivos de filtración continua que se han de acoplar a los equipos de reprocesado con la finalidad de evitar en lo posible paradas de producción excesivas por limpieza y mantenimiento.

Otro de los aspectos que deben ser mejorados en el ámbito del reciclado mecánico son las tecnologías de tratamientos previos que permitan la eliminación de las tintas de los plásticos.

- *Reciclado químico*

Los procesos de reciclaje químico tienen como objetivo depolimerizar los polímeros presentes en los plásticos con la finalidad de obtener productos químicos de interés o los monómeros originales, para que luego puedan utilizarse en la polimerización de nuevos polímeros. El reto radica en desarrollar procesos viables económicamente y sostenibles, ya que muchas de las





opciones actuales requieren un alto consumo de energía (presión y temperatura) y emplean productos químicos agresivos como solventes.

Muchas de las tecnologías desarrolladas se encuentran actualmente en un estado pre-comercial, pero se presentan como una alternativa adecuada para revalorizar flujos de residuos plásticos complejos (contaminados, multicapas) que ahora mismo no pueden ser reciclados mediante reciclaje mecánico. Asimismo, se deberá trabajar en la mejora de la pureza de los productos obtenidos.



Figura 12. Retos tecnológicos del sector





3. EL PROCESO DE RECICLADO

3.1 Introducción

El reciclado de los residuos consiste en la opción de valorización preferente para los mismos. El fin último de la valorización es obtener valor de un residuo en forma de un material secundario que pueda sustituir materia prima virgen, o en forma de energía. Las opciones de valorización que se aplican sobre los residuos plásticos son reciclado mecánico, reciclado químico, compostaje, biometanización y valorización energética. De las anteriores, el reciclado mecánico es la opción más utilizada por ser poco compleja y energéticamente más beneficiosa, y será descrita en profundidad en este capítulo.

Uno de los aspectos más importantes para el reciclado mecánico y una buena calidad de los materiales reciclados posteriores, es una adecuada recogida selectiva de los residuos. Cuanto mejor separados estén estos al inicio del proceso, mejor y más puras serán las granzas recicladas que se obtendrán a partir de ellos. La mayoría de los plásticos reciclados post-consumo recogidos selectivamente provienen de los hogares y actividades comerciales. En el siguiente esquema del informe sobre Economía Circular de los Plásticos de Plastics Europe 2020, se observa que los índices de reciclaje son 10 veces superiores cuando los residuos son recogidos selectivamente en comparación con el reciclaje de residuos que provienen de una fracción mixta. En 2018, solo fue posible reciclar el 6 % de los residuos que provienen de una fracción mezclada, en comparación con el 62 % de residuos selectivos reciclados.

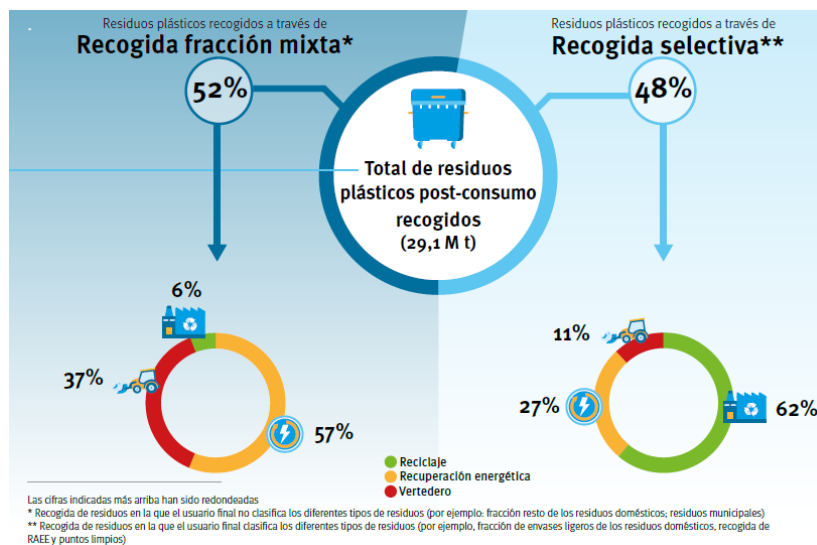


Figura 13. Importancia de la recogida selectiva en el reciclaje de plásticos

Fuente: Economía Circular de los Plásticos de Plastics Europe, 2020

Por tanto, los sistemas de recogida tienen una gran influencia en la calidad posterior de los productos, ya que tienen un impacto directo en el nivel de contaminación presente en las corrientes de separación en los centros segregación y posteriormente en las plantas de reciclaje. Por ejemplo, cuando los residuos no están separados sino que se encuentran mezclados con otros restos orgánicos los niveles de contaminación son mayores, lo cual disminuye la eficiencia





y aumenta los costos de reprocesado. Esto en última instancia conlleva a una disminución del valor de los reciclados. En la Figura 14 se muestra un esquema general las etapas generales involucradas en el proceso de reciclaje.



Figura 14. Esquema general del proceso de reciclaje

3.2 Reciclado Mecánico

El reciclado mecánico es un proceso mediante el cual a través de la tecnología de extrusión de plásticos los residuos se convierten en nuevos materiales plásticos en forma de granza que pueden ser empleados en la fabricación de productos de la misma aplicación o en otras distintas. De esta manera, se recupera una materia prima que es mayormente no renovable y se evita que la misma llegue a vertederos. La ventaja de este proceso es que las cadenas poliméricas mantienen su integridad estructural en gran medida sin observarse perjuicio de las propiedades finales.

Puede ser empleado en todo tipo de plásticos aunque el efecto del proceso de reciclado en las propiedades diferirá en función del tipo de polímero de base. Además del polímero base, la calidad de los plásticos reciclados dependerá también de los procesos de selección y separación previos, es decir, de la presencia de impurezas o impropios. Los materiales reciclados de mayor calidad provienen de aquellos residuos más limpios y puros.

Los aspectos negativos asociados al proceso de reciclaje mecánico están relacionados con sus implicaciones medioambientales como lo es el alto consumo de agua de lavado, la generación de aguas residuales o la generación de rechazos (residuos que no pueden ser reciclados). Su importancia, dependerá de las características de los residuos y su procedencia.

3.2.1 Descripción general del proceso de reciclado

Las etapas del proceso de reciclado dependerán de la calidad del residuo de partida. Principalmente si se trata de un residuo pre-consumo o post-consumo. En general, un proceso de reciclado mecánico incluye las etapas que se muestran en la Figura 15.



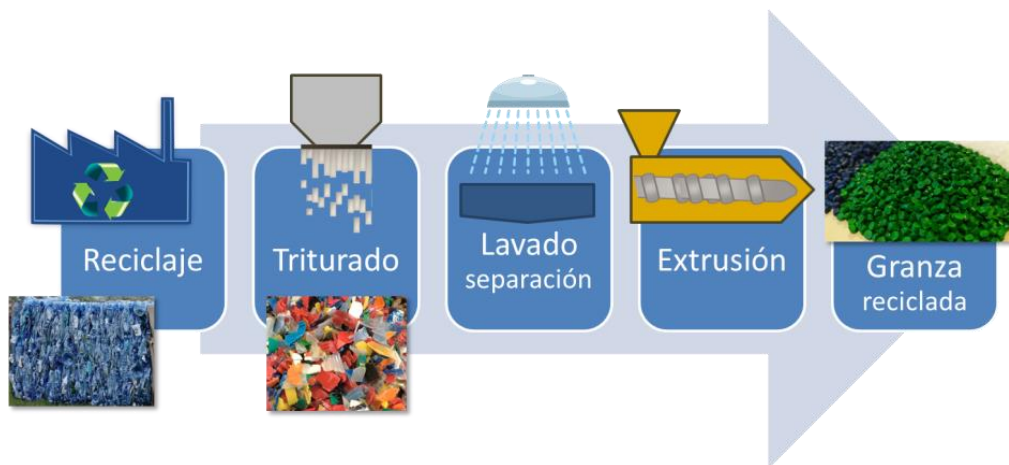


Figura 15. Esquema del proceso de reciclado mecánico

En este esquema se considera un proceso de reciclado cuyo producto final es un material plástico reciclado en forma de granza. Algunas plantas de reciclaje van un paso más allá y transforman la materia prima reciclada obtenida en productos terminados. Sin embargo, aquí se considerarán sólo las etapas que conllevan la producción de los materiales reciclados. A continuación se describen cada una de ellas.

- *Segregación y descontaminación mecánica*

El primer paso en el reciclaje de residuos plásticos, previo a la planta de reciclaje, consiste en una adecuada selección y separación de los materiales. Esta etapa es muy importante ya que de ella dependerá la calidad del reciclado final. Mientras mejor estén separados los residuos, en cuanto a forma, aplicación original, tiempo de uso y material de fabricación principal, más puros serán flujos de residuos y en consecuencia de mayor pureza y calidad será el material reciclado que se obtenga a partir de ellos.

Con este objetivo se utilizan en esta etapa diferentes equipos detectores y separadores que utilizan diferentes tecnologías. A continuación, se describen algunos de ellos:

Separadores magnéticos férricos y no férricos

Este tipo de separadores se emplea para separar los posibles materiales férricos de los plásticos empleando campos magnéticos generados por un imán o un electroimán. Es muy importante separar cualquier tipo de contaminación de metal férrico de los residuos ya que su presencia puede afectar la maquinaria de reprocesado posterior. Estas contaminaciones pueden ser tornillos o insertos metálicos, entre otros.

Los metales no férricos como el cobre y aluminio también deben ser separados de los residuos. Para ello se utilizan separadores basados en las corrientes de Foucault o separadores de Eddy. Se basan en el principio de los campos magnéticos alternativos, es decir un campo en el que los polos cambian de uno a otro alternativamente. Los contaminantes metálicos no férricos cuando son sometidos a este campo magnético son expulsados automáticamente del flujo de residuos.





Separadores ópticos

Son separadores que se basan en tecnologías espectroscópicas que permiten identificar cada plástico en función de su estructura química. Mediante este tipo de equipos se pueden diferenciar y clasificar diferentes residuos plásticos en función de la materia prima con la que están fabricados. La tecnología consiste en identificar las señales en el espectro de infrarrojo correspondientes al plástico que se desea separar. Los residuos son transportados en una cinta transportadora y un detector de infrarrojo cercano NIR detecta de qué polímero se trata, lo identifica y mediante una corriente de aire sopla aquellos que coincidan con las señales previamente establecidas. Se pueden separar 2 o más fracciones, dependiendo de las electroválvulas que tenga el equipo. El rango de longitudes de onda en las que son detectadas las señales del NIR infrarrojo son entre 1100 y 1900 nm⁻¹, aunque puede ampliarse hasta 700 nm⁻¹. En este rango de longitudes se encuentran las señales características de la mayoría de los plásticos comunes.

Otros separadores ópticos se basan en las tecnologías de colorimetría y permiten separar los plásticos por colores. Esto es de especial interés para garantizar aún más la calidad de la separación de los residuos, como por ejemplo botellas de agua transparentes de botellas de agua coloreadas de azul. La tecnología se basa en la detección de las señales características en longitudes de onda del espectro del UV-Visible, entre 400 y 800 nm. Es de gran interés separar los plásticos coloreados de aquellos transparentes o color “natural”, ya que estos últimos pueden utilizarse en aplicaciones de este mismo tono o pueden admitir una coloración posterior con cualquier otro pigmento (o *masterbatch* de color).

En resumen, el proceso de segregación puede hacerse tan preciso como se desee y, aunque esto encarecerá el coste, sin duda contribuirá a incrementar la calidad de los materiales reciclados. En la Figura 16 se muestra un esquema de todas las posibilidades y tecnologías de segregación de los residuos plásticos.



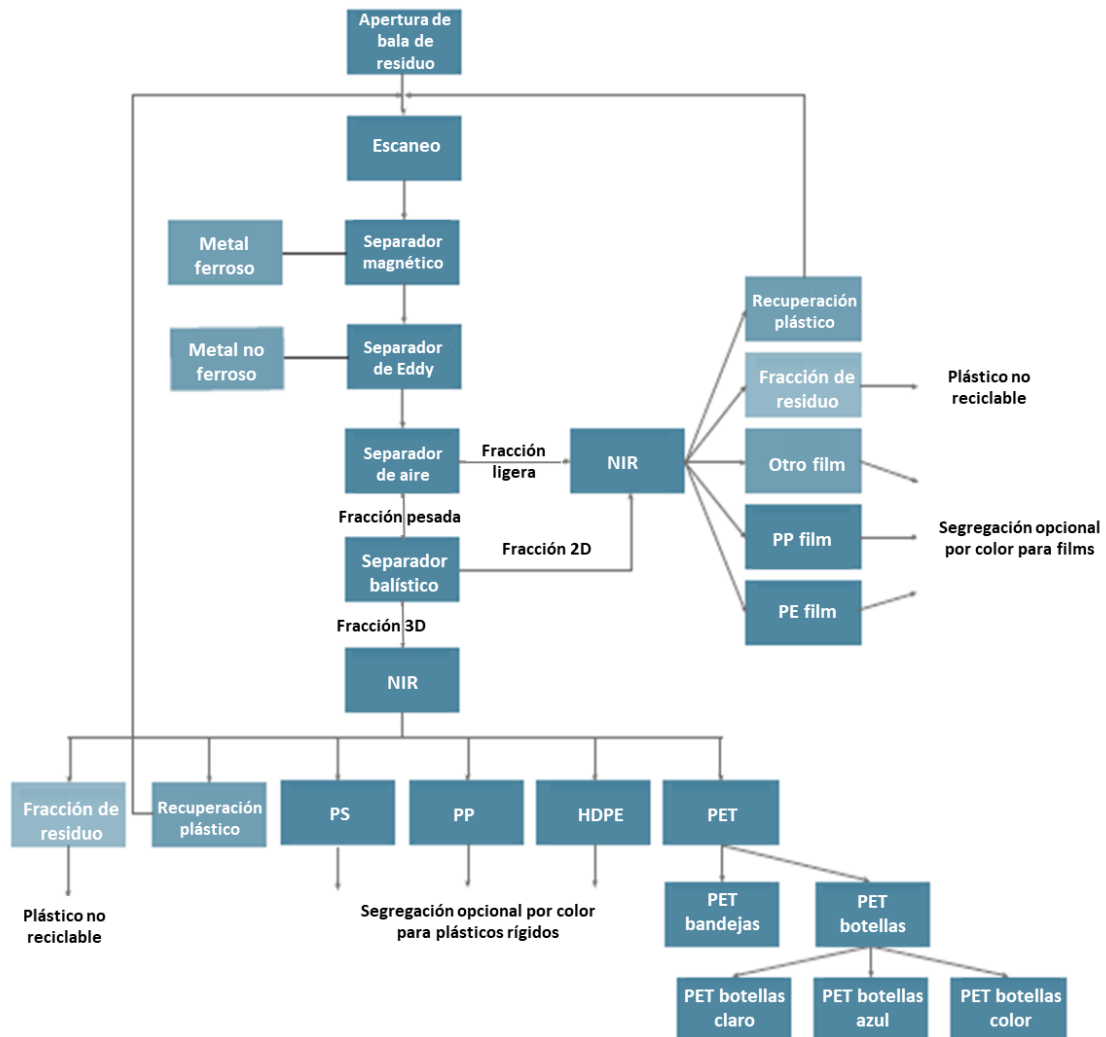


Figura 16. Esquema de tecnologías de segregación de residuos plásticos

Fuente: Guidance on quality sorting of plastic packaging, Plastics Recyclers Europe, 2019.

- Trituración

Una vez separados, los residuos suelen recibirse en su forma original empaquetados en balas. En esta etapa son sometidos a un proceso de trituración para disminuir su tamaño y homogenizarlos empleando diferentes tipos de molinos. En una primera etapa se utilizan molinos desgarradores que reducen el tamaño del residuo inicial y lo convierten en tiras. Luego, estas tiras son enviadas a un molino triturador que reduce el tamaño hasta formar un particulado en forma de escamas o pequeños trozos cuya dimensión final dependerá del tamaño del tamiz que se coloque en el molino. De esta manera los residuos son troceados y triturados hasta alcanzar un tamaño inferior al del tamiz colocado. El tamaño final obtenido suele estar en torno a los 10 mm siendo preferible un tamaño de partícula homogéneo sin polvos o partículas muy pequeñas o finas ya que estas podrían provocar efectos degradativos durante el reprocesado posterior.





Durante el proceso de triturado se puede producir un aumento de la temperatura en el material que puede causar degradación termomecánica en el mismo. Es importante evitar en lo posible estos procesos degradativos para lo cual el material debe trocearse de una manera limpia y rápida. Por este motivo algunos equipos cuentan con dispositivos de refrigeración que regulan la temperatura durante el proceso.

- *Lavado y separación*

Los residuos triturados son posteriormente sometidos a un proceso de lavado. En algunas ocasiones y dependiendo del tipo y suciedad del residuo, se puede realizar un lavado de estos en una etapa previa al triturado. El proceso se lleva a cabo en lavaderos que puede ser único o pueden ser varios colocados en línea, con centrifugas alternadas. Se puede emplear agua o soluciones acuosas de sosa, detergentes o tensoactivos para realizar la limpieza a temperatura ambiente.

Otra posibilidad son los procesos de lavado en seco que utilizan corrientes de aire, agitadores y vibradores para remover la suciedad. Este es el procedimiento adecuado cuando se tienen residuos con mucha cantidad de tierra como los procedentes del sector agrícola.

Durante el proceso de lavado en agua, se lleva a cabo una segunda separación de las diferentes fracciones plásticas en función de su densidad. Materiales como las poliolefinas, entre las que se encuentran polietilenos de alta y baja densidad (HDPE y LDPE) y polipropilenos (PP), presentan densidades menores a 1 g/cm^3 y por tanto tenderán a flotar en el medio de lavado. En cambio, aquellos polímeros con densidades superiores a este valor se hundirán. Es el caso del polietileno tereftalato (PET), el policloruro de vinilo (PVC) y las poliamidas (PA). De esta manera se pueden separar los diferentes tipos de polímeros entre sí.

Sin embargo, es importante destacar que diferentes condiciones pueden alterar la densidad del plástico, haciendo que esta metodología de separación no sea la más precisa. Por ejemplo, la presencia de ciertos aditivos o cargas pueden alterar el valor de densidad propia del polímero en cuestión. Es el caso de los plásticos, como el polipropileno, cargado con fibras de vidrio o carbono, entre otros. Al tener estas cargas una densidad mayor y añadirse en altas cantidades, pueden incrementar la densidad del polipropileno original causando que se hunda en el agua. Otro caso es el de los materiales espumados, que por su condición suelen presentar densidades aparentes inferiores a 1 g/cm^3 sin importar el polímero con el que estén fabricados, debido a la presencia de poros y cavidades que son característicos en las espumas y que contribuyen a aumentar su volumen para un mismo peso. Debido a lo anterior, este tipo de materiales tenderá a flotar. Finalmente, la forma del producto también puede afectar su separación por flotabilidad. Por ejemplo, los films pueden atrapar aire en su superficie haciendo que el material ascienda y flote. En otros casos puede tratarse de films multicapa compuestos de diferentes polímeros con distintas densidades. Por tanto, puede ser difícil intentar separar aplicaciones con diferentes componentes en su composición.





- *Secado*

Posteriormente a su lavado, los residuos triturados pasan a ser secados en una o varias etapas. Este paso es particularmente importante para aquellos polímeros muy higroscópicos como es el caso del PET, en el que la alta absorción de humedad que exhibe puede causar efectos negativos de degradación si es reprocesado antes de ser secado adecuadamente.

El secado puede realizarse mediante procesos térmicos o mecánicos en una centrífuga en la que se aplica aire o temperatura. Otras condiciones a tener en cuenta son el tiempo y la temperatura de secado o aplicar vacío, ya que son factores críticos a ajustar a fin de evitar una posible degradación del material.

- *Homogenización*

En esta etapa los residuos son almacenados y homogenizados en silos mezcladores. En los mismos se homogeniza el particulado de tal manera que se separa de las partículas finas indeseadas, se mantiene el nivel de humedad a mínimos controlados y se eliminan posibles olores que se generen en el producto. De esta manera se garantiza la calidad de los residuos reciclados.

- *Extrusión*

Constituye la etapa final correspondiente a la fabricación de la granza reciclada. Esta granza corresponde a la materia prima plástica reciclada que luego puede utilizarse en procesos de transformación posteriores como extrusión de perfiles, inyección de piezas, extrusión e inyección soplado de botellas, entre otros. Bajo presión y temperatura los residuos plásticos son fundidos y homogenizados y extruidos a través de una boquilla en forma de filamentos que son luego cortados para obtener la granza.

Los residuos plásticos son alimentados a través de una tolva para luego ser introducidos dentro de una camisa de calentamiento bajo la acción de un husillo rotatorio. El material es calentado por encima de su temperatura de fusión a medida que es transportado dentro de la camisa. El material así fundido se hace pasar por un filtro de malla ubicado justo antes de la boquilla a fin de evitar que impropios pasen a la granza final. De igual manera, este proceso permite extraer volátiles, mejorando así la calidad del producto. Es una tecnología que permite también la adición de aditivos y otros componentes con la finalidad de obtener una granza reciclada con propiedades mejoradas o incluso diseñadas a medida de una aplicación específica.

Las extrusoras pueden estar compuestas de uno o dos husillos, y en este caso pueden girar de manera corrotante o contrarrotante según la finalidad. Las extrusoras doble husillo se utilizan para llevar a cabo mezclas de polímeros con cargas y aditivos, mientras que las de un solo husillo se emplean simplemente para transformar el residuo plástico. En ambos casos se obtienen filamentos extruidos a través de una boquilla que luego son enfriados en baños de agua o aire, para luego ser cortados en partículas pequeñas de dimensiones en torno a 1-3 mm, que son las que constituirán la granza reciclada.





Un aspecto crítico en la extrusión de residuos plásticos es la filtración de impropios o infundidos. Justo antes de la boquilla de extrusión se encuentra acoplado un plato rompedor modificador del flujo sobre el cual se coloca un filtro de malla. A través de esta malla pasa el material fundido hasta la boquilla. Normalmente, se utilizan mallas muy cerradas que aguantan altas presiones. El tamaño de *mesh* a utilizar dependerá del nivel de filtración que se quiera alcanzar y las condiciones de proceso. Su función es retener impurezas solidas o infundidos, es decir contaminaciones de otros polímeros que no funden a las temperaturas de proceso empleadas.

Por ejemplo, como el PET funde a temperaturas superiores que el PE, contaminaciones de PET en PE permanecerán no fundidas a las temperaturas de proceso del PE y por tanto quedarán atrapadas en el filtro, evitando así que pasen al reciclado de PE. Los filtros de malla contribuyen a mejorar la calidad de los materiales reciclados. Sin embargo, se debe llegar a un compromiso entre nivel de producción y calidad del reciclado, ya que filtros muy finos permitirán obtener reciclados de mayor calidad pero es posible que requieran ser cambiados con mayor frecuencia ocasionando paradas de producción muy seguidas.

Los aspectos negativos asociados al proceso de reciclaje mecánico están relacionados con sus implicaciones medioambientales como lo es el alto consumo de agua de lavado, generación de aguas residuales y generación de rechazos (residuos que no pueden ser reciclados). Su importancia, dependerá de las características de los residuos y su procedencia.

3.2.2 Aspectos críticos a tener en cuenta en el reciclaje de plásticos

Para obtener reciclados plásticos de calidad se requieren controlar varios factores del proceso que tienen repercusiones directas en las propiedades de los materiales. A continuación, se describen los principales a tener en cuenta:

- *Impurezas*

El nivel de limpieza de los residuos plásticos dependerá de la aplicación inicial del producto y de su gestión posterior. Los residuos plásticos podrían considerarse sucios como consecuencia de la presencia de diferentes tipos de impropios. Entre las impurezas más comunes se encuentran papel de etiquetas, restos de adhesivos, tintes, restos orgánicos, tierra, fibras, insertos metálicos y hasta sustancias químicas como aceites, lubricantes, pigmentos, colorantes, aditivos, entre otros.

La limpieza de estas impurezas es de vital importancia para asegurar la calidad de los residuos, disminuir la presencia de olores indeseados y garantizar que los procesos de transformación posteriores se puedan realizar adecuadamente. Para ello se llevan a cabo procesos de separación previa (automáticos o manuales) y lavados en seco o en húmedo.

- *Sustancias peligrosas*

Este tipo de sustancias pueden proceder de haber estado el plástico en contacto con las mismas durante su uso. Es el caso de envases de productos químicos o plásticos de uso en agricultura, que han estado en contacto con fumigantes, fertilizantes o herbicidas, entre otros. Por otra





parte, podrían ser sustancias que formaban parte de la composición inicial del material. Un ejemplo de ello son los residuos provenientes del sector de la construcción o del sector electrónico y eléctrico, como cables y chips que tienen la presencia de metales formando parte del producto. Este tipo de sustancias deben ser eliminadas completamente de los residuos plásticos antes de su reciclado, lo cual encarece el proceso. Por ello constituye uno de los retos de revalorización más complejos para este tipo de residuos.

- *Plásticos diferentes mezclados*

Es uno de los aspectos más críticos a controlar, ya que las impurezas y contaminaciones debidas a la presencia de otros polímeros son uno de los problemas más comunes en la separación y reciclado de residuos plásticos. A lo anterior se suman aquellas aplicaciones que están compuestas por diferentes polímeros en la composición inicial del material. El problema fundamental radica en la incompatibilidad que puede existir entre los diferentes polímeros, tanto por sus propiedades como por sus diferentes condiciones de procesado. Por ejemplo, no todos los materiales funden a la misma temperatura y podrían degradarse si son procesados a temperaturas mayores de las que debieran utilizarse. Por ello, es muy importante una separación adecuada de los diferentes materiales. Alternativas como la compatibilización de los diferentes polímeros presentes mediante la adición de agentes compatibilizantes encarece el proceso y no siempre ofrece un producto de mejor calidad que los componentes individuales.

- *Degradación*

Los plásticos son susceptibles de sufrir degradación durante su uso o en el reprocesado, si están sometidos a diferentes condiciones, como pueden ser altas temperaturas o cambios de estas, radiación solar, alta humedad, exposición medioambiental, entre otros. Estos procesos degradativos conllevan un empeoramiento de las propiedades físicas de los materiales y deben tenerse en cuenta al considerar la revalorización de los residuos. Por tanto, es importante conocer la posible degradación que ha podido sufrir el material durante su uso y considerar realizar mezclas con material virgen o la adición de ciertos aditivos que contribuyan a preservar en mayor medida las propiedades originales.

En resumen, es muy importante que los residuos plásticos contengan la menor cantidad de impurezas y contaminantes, que se encuentren limpios, y que no hayan sufrido una degradación importante durante su uso. Esto permitirá asegurar la calidad de los materiales reciclados. De lo contrario, procesos de limpieza exhaustivos o la adición de otros componentes y aditivos encarecerá el proceso de reciclaje y esto tendrá una repercusión negativa en el coste de la materia prima reciclada.





4. MATERIALES RECICLADOS Y SUS PROPIEDADES

4.1 Principales materiales plásticos reciclados utilizados en la actualidad

- *Polietileno tereftalato (PET)*

El PET es uno de los materiales plásticos que ha sido reciclado con mayor éxito. Actualmente existen incluso grados de PET reciclado aptos para contacto alimenticio. Con una demanda estable de PET de 4 millones de toneladas en 2018 (según datos de Plastic Europe, 2019), para ser destinada a envases y botellas de agua, refrescos y otros productos, es un material con un claro potencial de revalorización. El PET reciclado transparente es el que tiene el mayor valor ya que puede emplearse directamente en nuevas aplicaciones de botella gracias a flujos de recogida post-consumo muy homogéneos, pero además tiene un mayor número de aplicaciones alternativas como la fabricación de fibras. En la Tabla 1 se muestran algunas propiedades generales del PET.

Tabla 1. Propiedades generales del PET¹⁰

Propiedad	PET*
Densidad (g/cm ³)	1,37-1,38
Resistencia tensil (MPa)	52,9
Resistencia al impacto Izod (J/m)	427
Dureza Rockwell (Escala M)	106
Temperatura de fusión (°C)	250-255
Absorción de humedad (24 h a 23 °C)	0,02%

*Los datos de la tabla son orientativos y dependerán del tipo específico de grado.

Las contaminaciones más críticas para el PET reciclado son aquellas que pueden catalizar su hidrólisis y por tanto degradación. Es el caso de la presencia de humedad (agua) o de improprios de PVC.

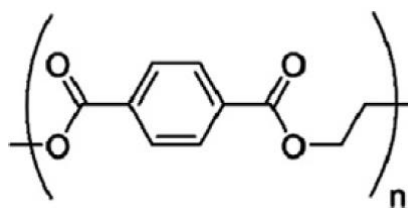


Figura 17. Estructura química del PET

- *Polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE)*

El polietileno es el polímero de estructura química más simple, constituida por una cadena lineal de unidades repetitivas de etileno (ver Figura 18). Es un polímero termoplástico altamente cristalino con múltiples aplicaciones, razón por la cual es uno de los de mayor consumo a nivel

¹⁰ J. A. Brydson, *Plastics Materials*. 7ed, Butterworth-Heinemann, 1999.





mundial. En 2018, la demanda de LDPE se encontraba en torno a 9 millones de toneladas, mientras que el HDPE en 6 millones de toneladas (según datos de Plastic Europe, 2019). Existen diferentes grados de polietileno, en función de las aplicaciones a las que van destinados. Desde aquellos LDPE o polietilenos de baja densidad (menores a $0,925 \text{ g/cm}^3$) hasta los HDPE o polietilenos de alta densidad (mayores a $0,940 \text{ g/cm}^3$). El valor de estos residuos es tal que actualmente son reciclados en corrientes separadas y diferenciadas de LDPE y HDPE. En Europa, se reciclaron en 2018 unas 2,5 millones de toneladas, un 66 % más que en los tres años anteriores, siendo España uno de los mayores recicladores europeos de LDPE. El LDPE se usa principalmente en film flexible para el sector del envase y embalaje. En la Tabla 2 se muestran algunas propiedades generales de un LDPE y un HDPE grado extrusión.

Tabla 2. Propiedades generales del LDPE y HDPE¹¹

Propiedad	LDPE*	HDPE*
Densidad (g/cm^3)	< 0,93	> 0,94
índice de fluidez (MFI) (g/10 min)	2	1,5
Resistencia tensil (MPa)	12,5	23
Elongación a la ruptura (%)	600	20
Resistencia al impacto Izod (J)	13,5	2
Temperatura de reblandecimiento Vicat ($^{\circ}\text{C}$)	90	121
Temperatura de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	108	130

*Los datos de la tabla son orientativos y dependerán del tipo específico de grado.

El punto más crítico del PE reciclado son las posibles contaminaciones con PET, PP o poliamida (PA). Todos estos materiales funden a temperaturas superiores que el PE y podrían ser filtrados si se toman las previsiones adecuadas. Es importante reducir su presencia al máximo posible ya que pueden causar una disminución en las propiedades mecánicas del PE.

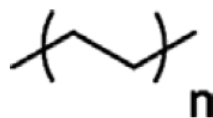


Figura 18. Estructura química del PE

- Polipropileno (PP)

EL PP reciclado tiene un uso menos extendido que el PET y el PE debido al tipo de aplicaciones en las que se usa habitualmente este polímero. Así, se emplea principalmente en el envasado de alimentos y contenedores aptos para microondas que no son de un solo uso, piezas de automoción, tapones, tuberías. Dado que son aplicaciones de vida útil mayor, la incorporación de PP reciclado puede ser menos competitiva. Aun así, en 2018, la demanda de PP se encontraba muy por encima del PE y el PET, casi en 10 millones de toneladas (Plastic Europe, 2019), lo que es indicativo del nivel de revalorización que puede ser alcanzado por este material. Actualmente,

¹¹ J. A. Brydson, *Plastics Materials*. 7ed, Butterworth-Heinemann, 1999.





los sectores de mayor interés para el PP reciclado son el de los tejidos para alfombras y el de las carcasas de batería. En la Tabla 3 se muestran algunas propiedades generales del PP.

Tabla 3. Propiedades generales de un PP homopolímero

Propiedad	PP*
Densidad (g/cm ³)	0,90-0,92
índice de fluidez (g/cm ³)	3
Resistencia tensil (MPa)	34
Resistencia al impacto Izod (J)	34
Dureza Rockwell (Escala R)	95
Temperatura de fusión (°C)	160
Temperatura de reblandecimiento Vicat (°C)	145-150
Elongación a la ruptura (%)	350

*Los datos de la tabla son orientativos y dependerán del tipo específico de grado.

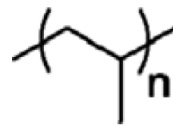


Figura 19. Estructura química del PP

- *Policloruro de vinilo (PVC)*

El PVC es un plástico con mayor complejidad de revalorización vía reciclado mecánico. Lo anterior se debe a la toxicidad de los diferentes aditivos (plastificantes) que pueden estar presentes en la formulación y que podrían ser volatilizados. Adicionalmente, efectos termodegradativos durante su reciclado pueden causar formación de volátiles altamente tóxicos y contaminantes. Es por esto que se han impulsado mejoras en las tecnologías de reciclado de este material. En el año 2018 se demandaban en Europa 5,5 millones de toneladas (según datos de Plastic Europe, 2019). Se emplea en sectores de la construcción: perfiles de ventanas, cables, tuberías, pero también en los sectores de automoción, electrónico y médico. El PVC reciclado puede reciclarse varias veces y emplearse en aplicaciones rígidas y flexibles que incluyen, mobiliario urbano, señales, suelas de zapatos o tuberías, entre otros.

Tabla 4. Propiedades generales de un compuesto de PVC¹²

Propiedad	PVC sin plastificante	PVC con 50 p.h.r. de plastificante DIOP
Densidad (g/cm ³)	1,4	1,31
Resistencia tensil (MPa)	58	19
Temperatura de reblandecimiento Vicat (°C)	80	Flexible a T _{amb}
Elongación a la ruptura (%)	5	300

*Los datos de la tabla son orientativos y dependerán del tipo específico de grado.

¹² J. A. Brydson, *Plastics Materials*. 7ed, Butterworth-Heinemann, 1999.





Las mejoras en el reciclado mecánico del PVC abarcan varios aspectos como, mejoras en la separación de los residuos y pre-tratamientos o post-tratamientos de corrientes de residuos de PVC más complejas que emplean solventes para remover posibles contaminantes. Sin embargo, los mayores avances se encuentran en las tecnologías de reciclado químico. Uno de los principales problemas del PVC es su uso en etiquetas que causan impropios en otros plásticos cuando son reciclados.

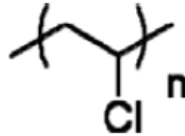


Figura 20. Estructura química del PVC

- *Poliestireno (PS)*

El PS es uno de los materiales que más se utiliza en aplicaciones de un solo uso. Desde espumas rígidas o flexibles hasta envases alimentarios, entre otros, emplean PS rígido, espumado o expandido (EPS). Tanto el PS como el EPS presentaron una demanda en Europa de casi 2 millones de toneladas cada uno (según datos de Plastic Europe, 2019). Aunque su aplicación principal es en envases, empaques y construcción (aislante), su utilización se encuentra muy por debajo de la del PE en envases y por ello es un material de menor valor para ser revalorizado por reciclado mecánico. Cabe destacar que el EPS requiere un paso previo de densificación antes de ser reciclado mecánicamente que puede conllevar un aumento de costes. Esto se hace con la finalidad de eliminar el aire presente en las perlas expandidas. El PS reciclado puede luego utilizarse en aplicaciones de menor valor como cestas, bandejas para horticultura, papeleras o espumas, entre otros. Es uno de los plásticos con menor tasa de reciclaje. Así, solo un 25 % del plástico generado es reciclado.





Tabla 5. Propiedades generales de un PS¹³

Propiedad	PS
Densidad (g/cm ³)	1,054
Resistencia tensil (MPa)	40-48
Resistencia al impacto Izod (ft lbf/in)	0,25-0,35
Elongación a la ruptura (%)	1,0-2,5

*Los datos de la tabla son orientativos y dependerán del tipo específico de grado.

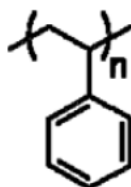


Figura 21. Estructura química del PS

4.2 Técnicas de muestreo y caracterización

- *Muestreo*

Para la evaluación y caracterización de los plásticos reciclados es importante establecer una metodología de toma de muestras que permita garantizar que las propiedades mismas son representativas del todo. Al tratarse de materiales de segundo uso que no son totalmente puros y cuya homogeneidad pueda estar en cuestión (ej. reciclado post-consumo), es importante que las muestras a ensayar reflejen en la medida de lo posible las propiedades de todo el lote. Con este objetivo se llevan a cabo técnicas de muestreo.

Una muestra es una fracción de un lote que es representativo del mismo. Un lote es una producción de material que se ha realizado bajo las mismas condiciones sin paradas de producción, de tal manera que se aseguran propiedades y características homogéneas en el material. Lo ideal es que cada lote venga con su hoja técnica exclusiva.

Para cumplimentar esta hoja técnica se deben tomar varias muestras de un lote y realizar diferentes ensayos. La toma de muestras o muestreo es un aspecto fundamental para asegurar una correcta evaluación de las características del material. Sin embargo, hay que tener en cuenta que mientras más heterogéneo sea el material a evaluar se hace más complicada la toma de muestras y conllevará un error asociado. Por tanto es importante seguir metodologías adecuadas para realizar la toma.

Uno de estos métodos es la Técnica del Cuarteo basada en el diseño del Dr. Kunitoshi Sakurai que se utiliza en el muestreo de residuos sólidos. Consiste en hacer un primer montón de la muestra total el cual es luego dividido en 4 fracciones. Dos de las fracciones ubicadas en posiciones opuestas (por ej. superior derecha e inferior izquierda) son separadas y nuevamente

¹³ J. A. Brydson, *Plastics Materials*. 7ed, Butterworth-Heinemann, 1999.

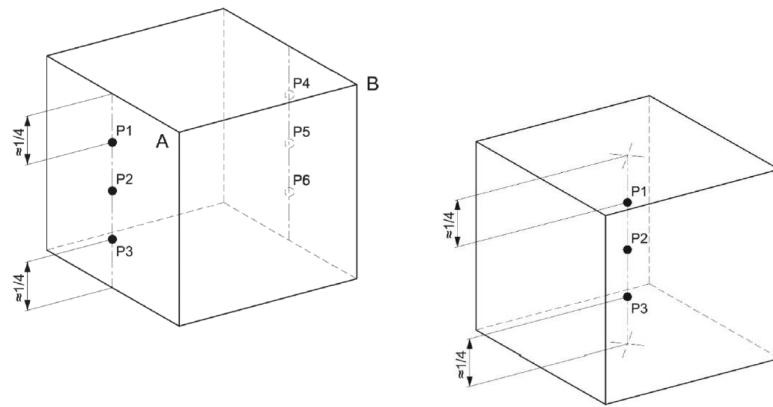




mezcladas en un segundo montón que es la mitad del anterior. Este es de nuevo dividido en 4 partes, y las dos fracciones opuestas son seleccionadas y mezcladas entre sí para formar un tercer montón que constituye una cuarta parte del montón original. Esto puede hacerse cuantas veces sea necesario hasta alcanzar la cantidad de muestra necesaria para realizar los ensayos. En residuos sólidos esta muestra puede estar en torno a 50 kg mientras que en reciclado entre 1 y 10 kg.

La toma de muestra por lotes se realiza en sacas de material. La norma “UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características” sugiere un procedimiento para ello. De cada saca de material se deben sacar muestras a diferentes alturas (P#) en el centro o en los lados hasta que la muestra combinada sea un 1 kg o superior (ver Figura 22).

Para la toma de las muestras se emplean diferentes instrumentos en función de si la toma se hace en el centro o desde un lateral de la saca (ver Figura 23). En el primer caso se usa una lanza y en el segundo un instrumento con una cámara para la toma de muestra.



Leyenda
A Frente
B Reverso

Figura 22. Posición de toma de muestras

*Tomado de la normativa UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características



Figura 23. Instrumentos de toma de muestra en el eje central y en el lateral de la saca de material

*Tomado de la normativa UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características

También se puede tomar muestra no solo por lotes sino en diferentes puntos del proceso de fabricación del material reciclado. Siendo importante una identificación adecuada para garantizar la trazabilidad de la muestra.





Otro punto importante es que para ciertos ensayos que precisan muy poca cantidad se requiere micronizar u homogeneizar la muestra antes de ser analizada para que sea representativa.

- *Técnicas de caracterización*

Espectroscopía infrarroja (FTIR)

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier es una técnica que permite la identificación de los polímeros mediante las señales características, correspondientes a las vibraciones de los enlaces presentes en la estructura química de los mismos, que aparecen a longitudes de onda específicas del espectro. De esta manera se puede identificar con precisión de que polímero está fabricado el plástico en cuestión. En la Figura 24 se muestran los espectros de infrarrojo en el rango medio de los polímeros más comunes¹⁴.

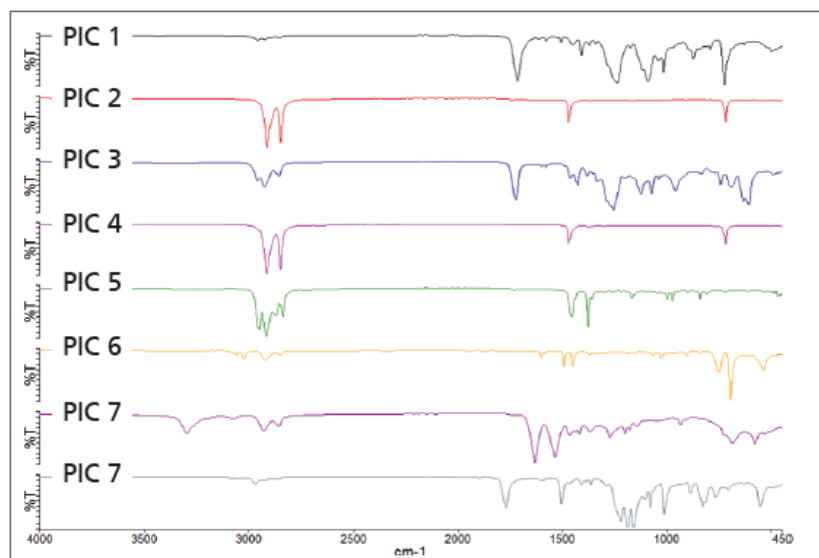


Figura 24. Espectros de FTIR de los plásticos más comunes: 1) PET, 2) HDPE, 3) PVC, 4) LDPE, 5) PP, 6) PS, 7) Otros: PA y PC

Calorimetría diferencial de barrido

Mediante esta técnica se determinan las propiedades térmicas de los materiales. Esta información es muy importante para establecer las condiciones de reprocesado, específicamente la temperatura de proceso. En polímeros semicristalinos como el PE, PET y PP se pueden determinar la temperatura de fusión (T_m) y cristalización (T_c) del material mientras que en polímeros de naturaleza amorfa como el PS se puede determinar la temperatura de transición vítrea (T_g). Así también, se pueden obtener otras características como el calor de fusión, calor de reacción, entre otros.

¹⁴https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/APP_Mid-IR_Polymer-Recycling-011780_01.pdf





El principio de la técnica consiste en medir la diferencia de flujo de calor de una sustancia con respecto a una referencia en función de la temperatura. Es una técnica que complementa al FTIR, ya que también permite aportar información adicional en cuanto a la identificación de los polímeros presentes en base a las transiciones térmicas que sufren (cristalización, fusión, vítrea) en función de la temperatura.

Análisis de reblandecimiento VICAT

Es una de las propiedades evaluadas en plásticos reciclados. La temperatura de reblandecimiento VICAT es la temperatura a la cual una punta de sección circular cargada con una fuerza normalizada penetra 1 mm en la superficie de una probeta. El ensayo se realiza a una velocidad de calentamiento constante.

Análisis termogravimétrico

Es una técnica que permite la determinación del contenido de ciertos aditivos y cargas inorgánicas en polímeros, así como su comportamiento de degradación frente a la temperatura. El principio se basa en registrar la pérdida de masa de una muestra en función de la temperatura o del tiempo (a una temperatura fija) bajo una atmósfera controlada que puede ser en aire o nitrógeno. Al inicio del ensayo a bajas temperaturas, se observa la pérdida de volátiles y humedad, y si se continúa aumentando la temperatura comenzara la degradación del polímero hasta su completa descomposición. Al final del ensayo, cuando termina la rampa de calentamiento, solo prevalecen las cargas inorgánicas. De esta manera se obtienen las temperaturas de degradación correspondientes a los diferentes eventos degradativos que pueden tener lugar en la muestra por efecto de la temperatura.

Así, se puede determinar la presencia y el contenido de humedad, cierto tipo de contaminaciones, solventes residuales o cargas inorgánicas, pero también la estabilidad térmica del polímero. En base a ello también se pueden establecer las temperaturas máximas de reprocesado que se pueden utilizar.

Densidad

La densidad es una propiedad intrínseca del material que puede determinarse mediante diferentes técnicas. La más utilizada es el método por inmersión, que consiste en colocar una muestra en diferentes líquidos de densidad conocida y medir el volumen desplazado. La muestra también debe ser pesada en seco previamente.

En base a las diferencias de densidad entre los diferentes materiales, estos pueden separarse en función de si se hunden o flotan en el líquido seleccionado. Es una técnica complementaria al FTIR de identificación de materiales, ya que puede ser complicado diferenciar entre polímeros de densidades similares o si existe la presencia de cargas y/o aditivos que pueden alterar el valor intrínseco de densidad del material.

En la Tabla 6 se muestran las densidades de los polímeros más comúnmente reciclados. Si se emplea agua, todos aquellos con densidad por encima de 1 g/cm^3 se hundirán y el resto flotarán.





Por ejemplo, es fácil separar PET de PP pero no así separar HDPE de LDPE, ya que ambos flotarán. Por ello, en algunos casos, se pueden agregar sales para ajustar mejor la densidad del líquido empleado.

Tabla 6. Densidad de plásticos comunes

Plástico	Densidad (g/cm ³)
PET	1,35-1,38
HDPE	0,94-0,96
PVC	1,32-1,42
LDPE	0,91-0,93
PP	0,90-0,92
PS	1,03-1,06

Índice de fluidez

La medición del índice de fluidez es una evaluación sencilla que aporta información del comportamiento reológico del material y por tanto bajo qué tecnologías y condiciones de procesamiento puede ser transformado. Se lleva a cabo en un instrumento llamado plastómetro y consiste en medir la masa (o volumen) que pasa a través de un capilar en un tiempo dado, bajo la acción de un peso específico y a una temperatura determinada. Es una manera sencilla de evaluar el comportamiento de los plásticos en el fundido. Se reporta como el valor de gramos de material en 10 min (g/10 min). Las condiciones de temperatura y peso a aplicar para cada polímero están fijadas en la norma. Por ejemplo, el PE se suele ensayar a 190 °C y el PP a 230 °C, ambos con un peso 2,16 kg. Existen diferentes combinaciones de peso y temperatura que pueden utilizarse para evaluar diferentes condiciones o en función del tipo de polímero. Debe prestarse especial atención a aquellos materiales sensibles a la humedad. Protocolos específicos de acondicionamiento previo de las muestras han sido definidos para ellos (por ejemplo, el PET) con la finalidad de que la medida no se vea alterada a consecuencia de procesos degradativos.

Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de los plásticos se puede evaluar bajo diferentes condiciones. Los escenarios más comunes son los ensayos realizados a bajas velocidades de deformación, como es el caso de los ensayos de propiedades mecánicas a tracción, flexión y compresión; y los realizados a altas velocidades de deformación, siendo en este caso los ensayos de resistencia al impacto tipo Izod, Charpy o Dardo.

Los ensayos más comunes que se hacen a los plásticos reciclados son los de tracción y los de impacto Izod o Charpy. Los ensayos mecánicos a tracción registran la variación del esfuerzo aplicado en función del porcentaje de elongación a lo largo del eje longitudinal. A partir de la curva de esfuerzo vs deformación generada se obtienen las propiedades mecánicas correspondientes a módulo de Young, esfuerzo, deformación y rigidez.

Al inicio de la curva, el esfuerzo es proporcional a la deformación. El módulo tensil o módulo de Young se determina a partir de la pendiente de la zona lineal. A medida que la deformación aumenta, la curva disminuye su pendiente hasta que alcanza un máximo; este máximo es





denominado por convención como el punto de fluencia. Dicho valor, se define muchas veces como el punto en el cual la deformación permanente o plástica toma lugar; sin embargo, para muchos materiales, la deformación permanente puede ser encontrada a valores menores de deformación, donde aunque la curva no presente un máximo ésta no sigue un comportamiento lineal. Para materiales poliméricos, el punto de fluencia está alrededor del 5-10% de la deformación total del material, mientras que para los metales este valor se encuentra alrededor de 0,1%. Cuando la deformación llega al límite y el material rompe, el esfuerzo alcanzado en ese punto se considera la resistencia a la tracción (o esfuerzo de ruptura) del material, y la deformación correspondiente se establece como la elongación a la ruptura.

En cuanto a los ensayos tipo Charpy o Izod, estos evalúan la resistencia al impacto de una carga pendular que impacta sobre la parte central de una probeta del material. Se determina así la energía cinética consumida por el péndulo para romper la probeta. Esta probeta puede ser previamente entallada o no y la diferencia entre Izod y Charpy radica en la configuración de colocación de la probeta en el instrumento con la finalidad de crear unas condiciones de concentración de esfuerzos diferentes para evaluar el material.

4.3 Normativa vigente para la caracterización de materiales reciclados

La Asociación Española de Normalización y Certificación es el organismo encargado en España del desarrollo de la normalización, y de la validación y certificación en todos los sectores industriales y de servicios. En el campo de reciclados plásticos existen normas ámbito nacional y una serie de normas que corresponden a la versión oficial, en español, de las normas europeas. Todas ellas proporcionan las pautas recomendadas, las características más importantes y los métodos de ensayo para evaluar los reciclados plásticos destinados a ser utilizados en la producción de productos acabados o semiacabados. A continuación, se listan todas las normas relacionadas con los plásticos reciclados:

- UNE-EN 15343: Plásticos reciclados. Trazabilidad y evaluación de conformidad del reciclado de plásticos y contenido en reciclado.
- UNE-EN 15347: Plásticos, Plásticos reciclados. Caracterización de residuos plásticos en general.
- UNE-EN 15344: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de polietileno (PE) y UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno reciclado. Características.
- UNE-EN 15345: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de polipropileno (PP) y UNE 53972: Plásticos. Materiales de polipropileno reciclado. Características y tipología.
- UNE-EN 15348: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poli(tereftalato de etileno) (PET)
- UNE-EN 15346: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de policloruro de vinilo (PVC)
- UNE-EN 15342: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poliestireno (PS)





A continuación serán descritas en mayor detalle las normas relacionadas con los residuos plásticos en general y las correspondientes al PET, PE y PP, que son los plásticos reciclados de mayor producción y consumo:

- *UNE-EN 15343: Plásticos reciclados. Trazabilidad y evaluación de conformidad del reciclado de plásticos y contenido en reciclado.*

Esta norma europea especifica los procedimientos necesarios para la trazabilidad de los plásticos reciclados. Adicionalmente, da las bases para el procedimiento de cálculo del contenido de reciclado de un producto.

La norma establece esquemas para el control del material de entrada, el control del proceso de producción reciclado, las características del reciclado y la trazabilidad.

El control de los materiales se realiza de acuerdo a la norma EN 15347 y el lote entrada debe ser debidamente identificado. Se debe mantener un registro de los productos de entrada y debidamente clasificados. Asimismo, se debe registrar todo lo concerniente al proceso de producción: variables de proceso, ensayos de control de calidad de productos e identificación de lotes de salida. Para el control de la trazabilidad se debe completar la información relacionada con:

- Tipo de material /procedencia
- Tipo de residuo
- Fecha de registro
- Historia del residuo (origen, aplicación original)
- Recogida (transporte)
- Clasificación
- Lote, Identificación
- Pretratamiento (lavado, molido)
- Almacenamiento

También se debe incluir información de los parámetros de proceso y los ensayos realizados después del mismo, así como la aplicación prevista para cada material. Adicionalmente, si los productos tienen un contenido de material reciclado, el mismo debe indicarse.

- *UNE-EN 15347: Plásticos, Plásticos reciclados. Caracterización de residuos plásticos en general.*

Esta norma establece el esquema de caracterización de los residuos plásticos. Para ello establece una evaluación obligatoria y un grupo de ensayos de caracterización opcionales cuyos datos pueden ser proporcionados para dar valor añadido al residuo. El objetivo de esta norma es que se garanticen fracciones de residuos plásticos reciclables adecuadas a las tecnologías de reciclado disponibles y en línea con las necesidades identificadas en el mercado.





A continuación se muestran algunas de las características requeridas (necesarias para caracterizar el residuo en general y requeridas en todos los lotes de residuos) y las características opcionales (las cuales constituyen información adicional que puede dar valor añadido al residuo).

Características requeridas

- Tamaño del lote
- Inspección Visual, color (natural, mixto, tono)
- Forma del residuo (escama, viruta, film, sacos, fibras, bobinas, botellas)
- Historia del residuo
- Principal polímero presente
- Otros polímeros presentes
- Embalaje

Características opcionales

- Resistencia al impacto UNE-EN ISO 179-1
 - Densidad UNE-EN ISO 1183-1 Método B. Picnómetro
 - Índice de fluidez UNE-EN-ISO 1133
 - Contenido en cenizas UNE-EN-ISO 3451-1
 - Humedad UNE-EN 12099
 - Temperatura de reblandecimiento Vicat UNE-EN ISO 306
 - Aditivos, contaminantes, volátiles
 - Deformación a rotura UNE-EN ISO 527
 - Esfuerzo en punto de fluencia UNE EN ISO 527
- *UNE-EN 15344: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de polietileno (PE) y UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características.*

La normativa que corresponde a la evaluación y caracterización del polietileno reciclado recae sobre las normas UNE-EN 15344, que es la versión oficial española de la norma europea correspondiente y la UNE 53978 del año 2019, perteneciente a la Asociación Española de Normalización y de ámbito nacional. Ambas normas son complementarias y tienen como objetivo establecer la toma de muestras, las características a medir (requeridas y opcionales) y el mercado establecido para clasificar el PE reciclado por tipologías. Se establecen los métodos de ensayo para evaluar un lote de PE reciclado destinado a ser utilizado en la producción de productos acabados y semiacabados. Las propiedades/ensayos requeridos y opcionales en la normativa española UNE 53978 se enumeran a continuación:





Características requeridas:

- Densidad aparente
- Densidad UNE-EN ISO 1183-1
- Contenido en cenizas UNE-EN-ISO 3451-1
- Color (Natural, Color, Negro)
- Índice de fluidez UNE-EN-ISO 1133
- Forma
- Contenido en materias volátiles

Características opcionales

- Impropios (Contaminantes)
- Nivel de filtración
- Resistencia al impacto UNE-EN ISO 179-1 o UNE-EN ISO 180
- Esfuerzo de tracción en el punto de fluencia UNE EN ISO 527
- Tamaño de partícula
- Deformación a rotura UNE-EN ISO 527
- Módulo de rigidez UNE-EN ISO 527

También se establecen los procedimientos a llevar a cabo para la toma de muestras tanto en sacas como en cisternas. Se deben tomar al menos 3 muestras a diferentes alturas en el centro de la saca o en una cara de la misma (para más detalles referirse a la norma).

Finalmente, se establecen las tipologías de PE reciclado y se especifican 4 categorías para identificar la calidad del mismo. En la Tabla 7 se muestran los indicadores a cumplir por cada categoría y en la Figura 25 se muestran los sellos identificativos.

*Tabla 7. Tipos de material de PE reciclado indicados en la norma UNE 53978**

	A	B	C	D
Ficha Técnica	√	√	√	√
Certificado de análisis	√	√	√	-
% Confianza del Certificado de análisis ¹⁾	√ (mínimo 90%)	√	-	-
Coefficiente de variación respecto al certificado de análisis	√ ²⁾	√		
Contenido en volátiles y cenizas	≤ Valor Certificado de análisis	≤ Valor Certificado de análisis		
1) Para establecer este grado de confianza, las Normas UNE-CEN/TS 16010 EX y UNE-CEN/TS 16011 EX describen los procedimientos de muestreo estadísticos y de la preparación de muestras, respectivamente. 2) Los coeficientes de variación respecto al certificado de análisis en las siguientes características requeridas deben ser: MFI: ≤ 20% Densidad específica: ≤ 0,5%				

* Tomado de la normativa UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características





Figura 25. Sellos de marcado del PE reciclado según la norma UNE 53978*

*Tomado de la normativa UNE 53978: Plásticos. Materiales de polietileno (PE) reciclado. Características

- UNE-EN 15345: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de polipropileno (PP) y UNE 53972: Plásticos. Materiales de polipropileno reciclado. Características y tipología.

En el caso del polipropileno reciclado también se tienen dos normativas vigentes, una de ámbito europeo, que corresponde a la UNE-EN 15345, y la otra de carácter nacional identificada como UNE 53972. Ambas normas establecen los ensayos principales y las características a reportar en materiales de PP reciclado destinados a fabricar nuevos productos. Adicionalmente, la norma española establece los procedimientos para la toma de muestra, y plantea dos tipologías para el PP reciclado: sin refuerzo y con refuerzo, y se plantean los requisitos de calidad en función de ello (ver Tabla 8 y Tabla 9). También se indican 4 sellos de marcado para identificar la calidad de los materiales (ver Figura 26).

A continuación se listan las características requeridas y opcionales que deben ser reportadas para los PP reciclados.

Características requeridas:

- Color
- Índice de fluidez UNE-EN-ISO 1133
- Forma
- Contenido en cenizas UNE-EN-ISO 3451-1
- Densidad aparente
- Contenido en materias volátiles

Características opcionales

- Densidad UNE-EN ISO 1183-1
- Nivel de filtración
- Polímeros extraños (Impurezas)
- Propiedades en flexión UNE EN ISO 178
- Esfuerzo en el punto de fluencia UNE EN ISO 527
- Deformación a rotura UNE-EN ISO 527
- Resistencia al impacto UNE-EN ISO 179-1 o UNE-EN ISO 180
- Módulo de rigidez UNE EN ISO 178 y UNE-EN ISO 527
- Evaluación del color mediante colorimetría
- Tamaño material





Tabla 8. Tipos de material de PP reciclado sin refuerzo indicados en la norma UNE 53972*

	A	B	C	D
Ficha Técnica	√	√	√	√
Certificado de análisis	√	√	√	-
% Confianza del Certificado de análisis¹⁾	√ (mínimo 90%)	√	-	-
Coefficiente respecto al certificado de análisis	√ ²⁾	√		
Contenido en cenizas	≤ 5,0% en peso	≤ 5,0% en peso		
1) Para establecer este grado de confianza en este tipo de reciclado cualificado, las Especificaciones Técnicas UNE-CEN/TS 16010 EX y UNE-CEN/TS 16011 EX describen los procedimientos de muestreos estadísticos y de la preparación de muestras, respectivamente. 2) El coeficiente de variación sólo se aplicará al MFI que deberá ser ≤ 20% respecto al certificado de análisis.				

* Tomado de la normativa UNE 53972: Plásticos. Materiales de polipropileno reciclado. Características y tipología

Tabla 9. Tipos de material de PP reciclado con refuerzo indicados en la norma UNE 53972*

	A	B	C	D
Ficha Técnica	√	√	√	√
Certificado de análisis	√	√	√	-
% Confianza del Certificado de análisis¹⁾	√ (mínimo 90%)	√	-	-
Coefficiente respecto al certificado de análisis	√ ²⁾	√		
Contenido en cenizas	≤ Valor Certificado de análisis	≤ Valor Certificado de análisis		
Identificación del refuerzo³⁾	√			
1) Para establecer este grado de confianza en este tipo de reciclado cualificado, las Especificaciones Técnicas UNE-CEN/TS 16010 EX y UNE-CEN/TS 16011 EX describen los procedimientos de muestreo estadístico y de la preparación de muestras, respectivamente. 2) Los coeficientes de variación respecto al certificado de análisis en las siguientes características requeridas deben ser: a MFI: ≤ 20% b Contenido en cenizas: ≤ 5% 3) Naturaleza química del refuerzo.				

* Tomado de la normativa UNE 53972: Plásticos. Materiales de polipropileno reciclado. Características y tipología



Figura 26. Sellos de marcado del PP reciclado según la norma UNE 53972*

*Tomado de la normativa UNE 53972: Plásticos. Materiales de polipropileno reciclado. Características y tipología





- *UNE-EN 15348: Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poli(tereftalato de etileno) (PET)*

Esta normativa de ámbito europeo pero con aplicación en España establece las pautas de caracterización de los reciclados de PET que se utilizarán en la fabricación de nuevos productos. Al igual que las anteriores, especifica los ensayos requeridos y opcionales a realizar en estos materiales.

Características requeridas:

- Forma
- Color (monocromo, transparente o mezcla)
- Determinación del tamaño de partícula
- Contenido de partícula fina
- Contenido de agua
- Contenido de PVC y poliolefinas

Características opcionales

- Índice de fluidez UNE-EN-ISO 1133
- Viscosidad intrínseca
- Alcalinidad
- Filtrabilidad
- Otro contenido residual
- Color mediante colorimetría

4.4 Control de calidad

Para asegurar la calidad de los reciclados se debe realizar un control en diferentes puntos del proceso de reciclado. Este control se puede realizar mediante diversas inspecciones. Estas pueden ser de diferentes tipos: en función del número que se realizan y en función de la etapa del proceso en la que se llevan a cabo. Así pues, las inspecciones pueden ser del 100 % de las unidades de producto; por muestreo, en las que se examina una muestra de producto en base a criterios específicos; de comprobación, y finalmente, inspección cero. Por otra parte, las inspecciones pueden realizarse en las diferentes etapas del proceso: en la recepción de materiales, en un punto intermedio del proceso, en el producto final, durante su almacenado, en un punto previo a la entrega y durante esta.

También pueden realizarse inspecciones de auditoría e inspecciones por terceros con la finalidad de comprobar la garantía de calidad mediante procedimientos arbitrales imparciales. Otro punto importante es establecer cada cuánto tiempo se realizan estas inspecciones. Este tipo de controles permite asegurar la trazabilidad de los productos. En reciclado de plásticos es muy importante asegurar la trazabilidad de los residuos hasta materia prima reciclada, de manera tal





que se registre e identifique cada lote de producción desde el origen hasta su aplicación y distribución final.

En la actualidad, existen varias iniciativas que tienen como objetivo certificar la trazabilidad y la calidad de los materiales plásticos reciclados. Corresponden a sistemas europeos de certificación armonizada impulsados por plataformas asociativas. Dos de los más importantes son las certificaciones de Eucertplast y Recyclclass.

La certificación de Eucertplast fue desarrollada a través de un proyecto de 3 años co-financiado por la Comisión Europea bajo el programa de Eco-Innovación. Tiene como objetivo la estandarización del proceso de reciclado de plásticos bajo un esquema europeo común con la finalidad de aumentar la transparencia en el sector. Para ello se enfoca en la trazabilidad de los materiales plásticos a lo largo de todo el proceso y la cadena de suministros, así como en la calidad de los reciclados. El esquema de certificación se basa en la norma europea EN 15343:2007 y el sello fue creado con la finalidad de reconocer altos estándares de calidad y buenas prácticas en los recicladores.



Figura 27. Sello de certificación de Eucertplast

Otra de las certificaciones de mayor popularidad es la otorgada por la plataforma asociativa Recyclclass. Este sistema de certificación evalúa la reciclabilidad de un nuevo producto o innovación con la finalidad de evaluar si el envase es realmente reciclable empleando los procesos y tecnologías de reciclado actuales, especialmente en el sitio donde se genera el residuo. La evaluación de la reciclabilidad se realiza mediante unos protocolos metodológicos especialmente diseñados para contenedores de PE y PP y film de PE.



Figura 28. Sello de certificación de Recyclclass





5. UTILIZACIÓN DE GRANZA DE PLÁSTICO RECICLADO

Los materiales plásticos reciclados, tras ser sometidos a los procesos de segregación, trituración y limpieza explicados en capítulos anteriores, son transformados mediante un proceso de extrusión hasta obtener material en forma de granulado, comúnmente denominado granza. Este material es utilizado como materia prima para los posteriores procesos de transformación (inyección, extrusión, extrusión-soplado o impresión 3D FFF, entre otros), que darán como resultado los productos plásticos finales.

Por ello, la granza de plástico reciclado tiene aplicabilidad en productos y sectores muy variados. Dado que estas aplicaciones dependen en gran medida de la naturaleza del plástico y por tanto, de sus características, a continuación se indican los plásticos reciclados que se usan en mayor medida, junto con sus principales propiedades:

- PET (Polietilen tereftalato): Es un plástico transparente que se usa para fabricar botellas de agua o refrescos. Tiene buena resistencia al vapor y a los gases. Es uno de los plásticos más usados y reciclados.
- HDPE (Polietileno de alta densidad): Este plástico se utiliza para fabricar envases de lácteos, zumos, champú, perfume, detergentes, etc. Resiste bien la humedad y es muy duro.
- PVC (Policloruro de vinilo): Se trata de un material rígido, duro y versátil, y se utiliza para embalar elementos no alimenticios, así como en elementos de la construcción, tales como marcos de ventanas, tuberías y puertas.
- LDPE (Polietileno de baja densidad): Es un material muy flexible e impermeable al vapor. Se utiliza para fabricar bolsas de alimentos y de basura, botellas exprimibles o tapas flexibles.
- PP (Polipropileno): Se emplea sobre todo en la fabricación de utensilios de cocina, como por ejemplo platos de plástico para microondas, pajitas de bebida, cubiertos desechables, etc.
- PS (Poliestireno): Este material, también conocido como cristal plástico o vidrio plástico, es un plástico duro que se utiliza en alimentación, laboratorio, juguetería, embalajes y multitud de aplicaciones más.

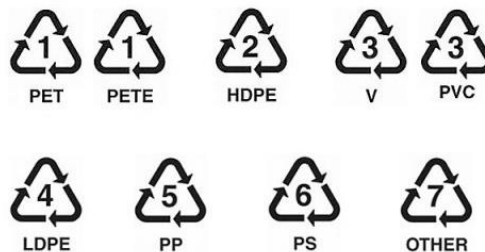


Figura 29. Pictogramas de materiales plásticos reciclables





5.1 Aplicaciones potenciales de cada material

El plástico reciclado tiene aplicación en industrias muy diversas, siendo posible obtener productos a partir de materiales reciclados para diferentes sectores. En la Figura 30 se muestra un ejemplo de los principales usos que se les da en la actualidad a los plásticos reciclados procedentes de residuos post-consumo:

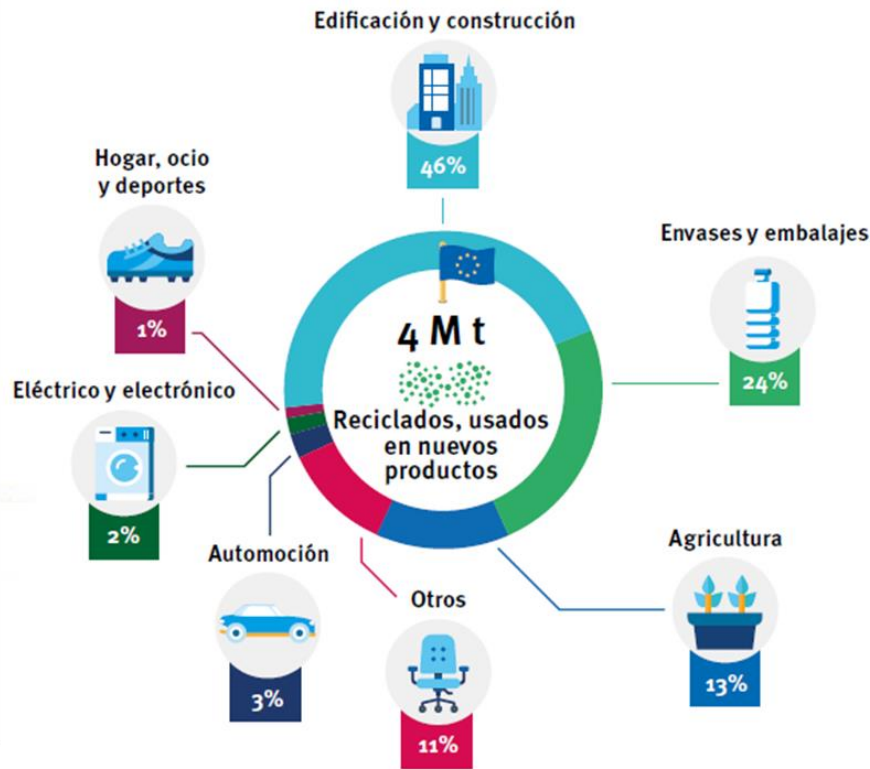


Figura 30. Principales aplicaciones de los plásticos reciclados
Fuente: La economía circular de los plásticos. Informe de Plastics Europe

Un aspecto determinante en la aplicación final de los materiales reciclados es la calidad de los mismos. Por este motivo, el sistema de círculo cerrado (utilización del material reciclado en la misma aplicación que generó el residuo, por ejemplo “*bottle-to-bottle*”) no siempre es posible. Esto sucede a menudo en aplicaciones de alto rendimiento, las cuales requieren de un nivel de calidad muy elevado para cumplir las especificaciones de producto y requisitos regulatorios. Por este motivo, en algunos casos los materiales reciclados pueden usarse en la misma aplicación que los generó, pero en otros casos solo es posible darles una segunda vida en aplicaciones diferentes a la inicial.

En líneas generales, y como es lógico, las aplicaciones de los materiales reciclados dependen en gran medida de su naturaleza, es decir, del tipo de polímero del que estaban fabricados los materiales de partida. A continuación, se indican los campos de mayor aplicabilidad de los materiales plásticos de uso más común y que por tanto, suponen el mayor volumen de residuos plásticos:





- *Aplicaciones del PET reciclado*



El PET es un material totalmente reciclable, siendo además su proceso de reciclado de un bajo coste económico. Además, los procesos de reciclaje actuales permiten obtener un plástico de igual o mejor calidad que el obtenido con material virgen. Por ello, su principal aplicación es la fabricación de botellas de agua y refrescos, siendo posible un sistema de ciclo cerrado. De hecho, el PET es el plástico más reciclado del mundo. Su infraestructura de reciclado está bien establecida, tanto en la fase de recogida y separación como en los procedimientos adicionales y uso final.

Un aspecto importante es el hecho de que se trata de un material que puede ser reciclado múltiples veces. No obstante, cuando se trata de una aplicación alimentaria solo está permitido un primer nivel de reciclaje. Por ello, una vez ha sido reciclado una vez, el PET se destina a otras aplicaciones, tales como fibra, fibra de relleno textil, correas y botellas y envases para usos no alimentarios, tales como detergentes y productos fitosanitarios.

- *Aplicaciones del HDPE reciclado*



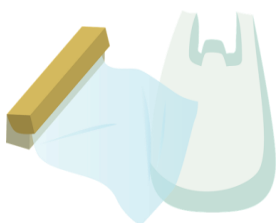
Es uno de los plásticos de uso más extendido. Sus residuos provienen principalmente de recipientes de productos de limpieza, botes de crema o de leche. A partir de estos residuos, el material reciclado obtenido es utilizado para la fabricación de elementos como contenedores de reciclaje, cajas de almacenaje, botellas para el sector de la cosmética y la higiene, así como envases de comida o macetas.

- *Aplicaciones del PVC reciclado*



El PVC es un material muy difícil de reciclar. En cuanto a propiedades es muy ligero, resistente y duradero, con alta tolerancia al fuego y de permeabilidad alta. Se utiliza mucho en la construcción, en elementos como puertas y ventanas o tuberías. Asimismo, tiene aplicación en productos médicos, en *mats* agrícolas, fibras de aislamiento acústico, mobiliario urbano, y en del calzado. Debido a la dificultad del proceso, solo puede ser reciclado de manera industrial.

- *Aplicaciones del LDPE reciclado*

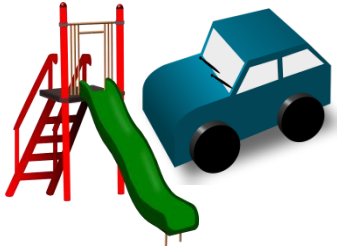


Es un material muy elástico, duro y translúcido. Destaca su bajo coste, lo que se traduce en un uso muy extendido. De hecho, junto con el PET es el plástico más reciclado actualmente. Una vez reciclado, generalmente puede volver a ser usado para crear los mismos productos. Así, se utiliza para las bolsas de plástico, aislantes de cables, films flexibles y botellas flexibles.



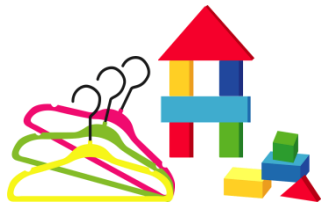


- *Aplicaciones del PP reciclado*



El PP destaca por su alta resistencia al calor, pero en este caso no es un material flexible. Una vez reciclado se encuentra en numerosos objetos, tales como jardineras, papeleras de compostaje. También tiene numerosas aplicaciones en el sector del automóvil, principalmente en partes no visibles del mismo. Asimismo, suele utilizarse para fabricar juguetes o alfombras.

- *Aplicaciones del PS reciclado*



El reciclaje del PS no es sencillo. Como material es muy buen aislante y resistente, siendo muy usado en la construcción, en productos como duchas, espuma aislante o tubos de ensayo. Asimismo, se utiliza para productos de uso cotidiano, como perchas, juguetes o material de oficina.

5.2 Sectores de interés

La demanda potencial de los plásticos reciclados por parte de los mercados finales se basa en los siguientes factores:

- Aceptación del mercado, concretamente, de los transformadores y consumidores.
- Aceptación técnica, basada en la necesidad de asegurar las prestaciones deseadas de los productos y la idoneidad para el proceso de transformación.

En la actualidad son numerosos los sectores donde se utilizan los materiales reciclados. En la Figura 31 se muestran los principales mercados a los que se destinan las materias primas recicladas:

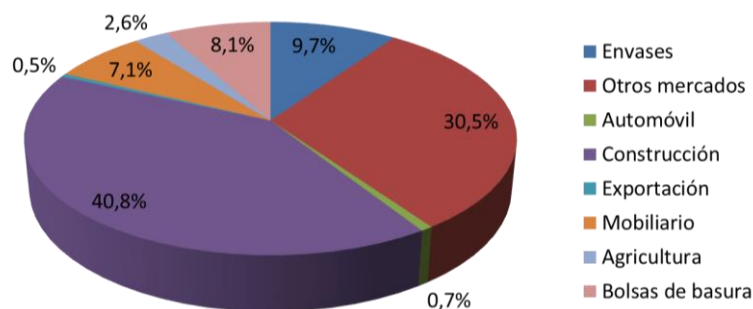


Figura 31. Mercados de destino final de las materias primas recicladas

Fuente: Centro Español de Estudio y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

Como muestra la figura, destacan las aplicaciones en los sectores de la construcción y el mobiliario urbano, así como el del envase y embalaje y la agricultura. No obstante, el desarrollo





de tecnologías de reciclaje innovadoras permitirá mejorar la calidad de los reciclados, lo que derivará en un mayor número de aplicaciones.

- *Sector de la construcción*

El sector de la edificación y la construcción absorbe un porcentaje muy importante del total de los materiales reciclados. En este sector son utilizados productos con elevados requisitos de rendimiento y durabilidad. De hecho, cuanto mayor es la vida útil de un producto contribuye en mayor medida a la eficiencia de recursos y circularidad. A continuación, se muestran ejemplos de la utilización de plásticos reciclados en este sector:

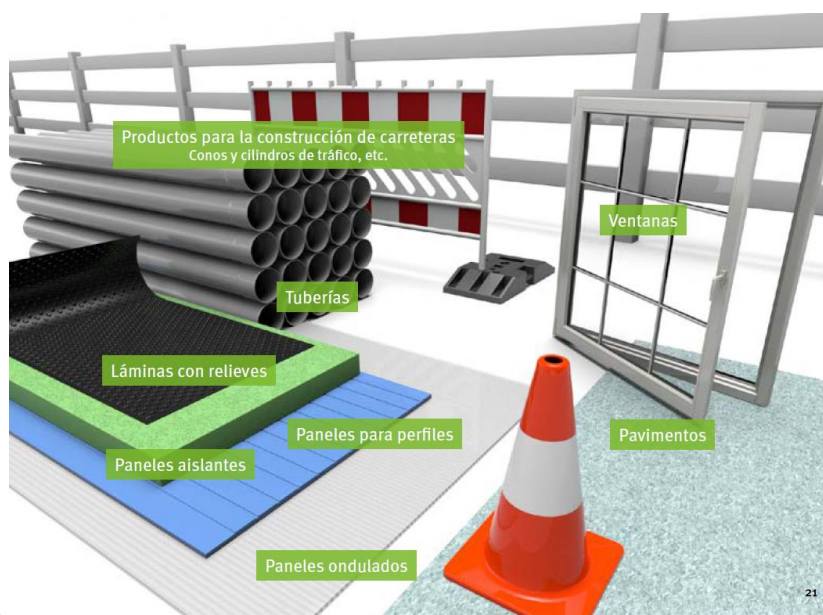


Figura 32. Aplicaciones en el sector de la construcción

Fuente: La economía circular de los plásticos. Informe de Plastics Europe

Destacan en este sector elementos como losas para aceras, losas para parques y jardines, pavimentos de edificios, etc., englobando el 40,8 % de las aplicaciones del plástico reciclado. Asimismo, en el sector de la obra civil el plástico reciclado se utiliza principalmente en productos de aislamiento e impermeabilización, como planchas y paneles de aislamiento térmico y acústico, láminas de impermeabilización de cubiertas, tejados, suelos, cimientos o perfiles de ventanas y cerramientos. También es muy frecuente su uso en tuberías de saneamiento y tubos de conducción de cables.

- *Sector de envase y embalaje*

En torno a un 24 % de los materiales reciclados se utilizan en aplicaciones de envase y embalaje, cifra que podría aumentar cuando la legislación referente a los materiales en contacto con alimentos cambie, lo que permitiría aumentar el abanico de aplicaciones en este sector. Ejemplos de productos que incorporan materiales reciclados son las bolsas de basura, palés, cubos, láminas para transporte y embalaje, botes para productos de higiene o limpieza, botellas de bebida o cintas de embalar.





Figura 33. Aplicaciones en el sector del envase y embalaje
Fuente: La economía circular de los plásticos. Informe de Plastics Europe

- Sector de la agricultura

Los sectores de la agricultura y la jardinería utilizan material reciclado en numerosas aplicaciones. Ejemplos de productos fabricados con material reciclado en este sector son barriles para agua de lluvia, contenedores para compost, láminas protectoras o film de ensilado, mangueras y tuberías de riego, palés de cultivo o maceteros y tiestos para flores.



Figura 34. Aplicaciones en el sector de la agricultura
Fuente: La economía circular de los plásticos. Informe de Plastics Europe





- *Otros sectores de interés*

Sectores como el de la automoción, el mobiliario urbano o el sector eléctrico-electrónico también utilizan materiales reciclados en sus productos.



Figura 35. Aplicaciones en otros sectores de interés

Fuente: La economía circular de los plásticos. Informe de Plastics Europe

En particular, la industria del automóvil ha encontrado muchas virtudes en el plástico reciclado. Principalmente por su ligereza y durabilidad, además de que mejora la aerodinámica, la eficiencia y el aislamiento acústico del coche. Por ello no es de extrañar que cada vez esté más presente en este sector. El plástico reciclado suele utilizarse en parachoques, planchas de aislamiento acústico debajo del capó, paneles interiores de puertas, revestimientos de suelos y de maleteros.

Por otro lado, también se han incorporado con éxito materiales reciclados en electrodomésticos, como son máquinas de café, taladros o aspiradores. Asimismo, se utilizan productos con material reciclado como mochilas o calzado deportivo en el sector del ocio y el deporte.

El mobiliario urbano también es receptor de una gran cantidad de materiales plásticos reciclados. De hecho, corresponde al 7,1 % de los usos de material plástico reciclado en España. Elementos como bancos, iluminación o parques infantiles son ejemplos de aplicaciones de este tipo. El material utilizado para su fabricación a menudo es la madera plástica, material formado a partir de residuos plásticos de HDPE o PVC con virutas de madera. Este material compuesto presenta ventajas como resistencia a los agentes externos (agua, radiación solar, temperatura, etc.), que lo convierten en un material idóneo para aplicaciones de exterior.





5.3 Aspectos de mejora para una mayor implantación de los materiales reciclados en la industria

Un sistema basado en la economía circular, tan beneficioso y que debería empezar a ser desarrollado a gran escala, aún tiene por delante ciertos obstáculos para su implementación generalizada.

Según datos facilitados por ANAIP (Asociación Española de Industriales de Plásticos), tras su estudio acerca de los principales motivos por los que empresas del sector de transformación no utilizan material reciclado, se han identificado las siguientes **barreras para el uso de material reciclado**:

- *Barreras*

Baja calidad de los materiales plásticos reciclados: Actualmente las empresas transformadoras consideran que es difícil encontrar suministro de plástico reciclado de buena calidad. Una problemática común para las empresas de transformación de plásticos es la ausencia de normas o procedimientos de calidad que permitan asegurar la calidad de los materiales reciclados.

Falta de conocimiento: La mayoría de los clientes de las empresas transformadoras no son conscientes de los beneficios y la necesidad de utilizar plástico reciclado.

Necesidad de adaptación del marco regulatorio: Es necesario que el marco regulatorio actual se adapte y respalde de forma adecuada el uso de plásticos reciclados, ya que las empresas de transformación consideran que la regulación actual no apoya correctamente el uso de materiales reciclados.

Requisitos del producto: La aplicación a la que va dirigido, el proceso de transformación o la funcionalidad del producto no admite material reciclado. En estos casos es necesario un estudio independiente e individualizado para determinar si se trata de un problema legislativo, diseño de producto o necesidad de unos requisitos específicos del material reciclado.

Disponibilidad: Las empresas transformadoras consideran que no siempre es posible contar con material reciclado con las características y cantidades necesarias.

Ausencia de normas de caracterización estandarizados: Generalmente cuando se trabaja con materiales plásticos reciclados se utiliza un *check-list* interno o una muestra industrial para comprobar la calidad del material, sin existir procedimientos estandarizados.

- *Líneas de actuación*

Para superar las barreras identificadas y poder desarrollar el potencial de los plásticos en una economía circular se requiere una combinación de medidas legislativas, así como inversiones en tecnología e iniciativas sectoriales. Además, para conseguir los objetivos fijados por la Comisión Europea es indispensable el trabajo conjunto de todas las partes implicadas, a fin de avanzar hacia los objetivos de aumento de los índices de reciclaje y la reincorporación de 10 millones de toneladas de plásticos reciclados a la economía europea, de cara al año 2025.





Como aspecto positivo a señalar, los datos recopilados en los últimos años muestran un progreso evidente en la cantidad de residuos plásticos post-consumo enviados a reciclar. Sin embargo, es necesario seguir trabajando en conseguir una mayor circularidad de los plásticos, como se ha comentado previamente. Para ello es necesaria la implicación de toda la cadena de valor de los plásticos, la cual incluye desde productores y transformadores a los propietarios de las marcas comerciales o desde los consumidores a las empresas de gestión de residuos. Igualmente es indispensable el apoyo de los responsables políticos, con el objetivo de crear un marco legal, tecnológico y económico que fomente la incorporación de materiales plásticos reciclados, impulsando la economía circular.

Concretamente, es necesario avanzar en dos líneas: el aumento de los índices de reciclaje y el fomento de la incorporación de reciclados. Para la consecución de estos objetivos, será necesario adoptar las estrategias que se muestran a continuación:



 Aumento de los índices de reciclaje	 Impulso de la calidad
<ul style="list-style-type: none">• Aumentar los esfuerzos para combatir el abandono de residuos plásticos en el medio ambiente, tanto por parte de los ciudadanos, la industria o las autoridades.• Restricciones al depósito en el vertedero.• Mejora de los programas de recogida de residuos y de las técnicas de clasificación.• Aumento de la concienciación medioambiental e implicación de los consumidores en los sistemas de recogida selectiva para aumentar los índices de reciclaje.• I+D e inversiones en los ámbitos del reciclaje químico como complemento al mecánico, así como las tecnologías de disolución	<ul style="list-style-type: none">• Mejora en la recogida y clasificación de los plásticos, para garantizar unos reciclados de mayor calidad.• Inversión en tecnologías de reciclaje (mecánico y químico) para mejorar la calidad de los reciclados y que puedan competir con materias primas vírgenes.• Innovación a lo largo de todo el ciclo de vida de los plásticos, incluyendo el desarrollo de directrices relativas al ecodiseño para maximizar la reciclabilidad de los productos.• Normalización y certificación de la calidad, para fomentar la igualdad de oportunidades y abrir nuevos mercados, asegurando además la calidad y la seguridad de los productos.

Figura 36. Líneas de actuación necesarias para el desarrollo del potencial de los plásticos reciclados
Fuente: La economía circular de los plásticos. Informe de Plastics Europe

En definitiva, la mejora de la calidad de los materiales reciclados disparará su demanda en el mercado y ampliará el abanico de aplicaciones basadas en alternativas a los materiales vírgenes, revolucionando la circularidad de los plásticos.





6. LEGISLACIÓN DE PRODUCTO CON MATERIAL RECICLADO

De forma general, existen diferentes términos de legislación, tales como la legislación ambiental, la legislación laboral y la legislación de producto, siendo esta última la que principalmente debe tomarse en consideración cuando hablamos de un producto en el que se incorpora material reciclado. Así, son aspectos claves los siguientes:

- ¿Qué legislación debe cumplir un producto?
- ¿Puedo emplear material reciclado para crear ese producto?
- ¿Qué aspectos debo cumplir?

En primer lugar, hay que tener en cuenta que no siempre es posible la utilización de material reciclado, lo que dependerá principalmente de la aplicación a la que se dirija. Así, existen aplicaciones donde su uso está prohibido, otras en las que está limitado y otras en las que no existe legislación como tal que prohíba su uso pero en cambio, ciertas normativas o el propio mercado limitan su utilización. Por otro lado, existen aplicaciones donde incluso las exigencias legales en el caso del material reciclado son incluso mayores que cuando se utiliza material virgen, como ocurre en el caso de la legislación de producto en contacto con alimentos. Por este motivo, es indispensable tener un buen control de la normativa y legislación asociada al producto.

Un aspecto de gran importancia es el relacionado con la existencia de una legislación que limita la presencia de ciertas sustancias, bien prohibiéndolas o bien limitándolas por debajo de un cierto valor. En este caso, se debe asegurar mediante el control del origen del residuo, la eliminación de la sustancia prohibida o el análisis lote por lote. En otros casos, son las especificaciones del cliente las que limitan la presencia de ciertas sustancias, lo cual es de importancia comercial (de cara a cumplir los requisitos de cliente) pero no se trata de una obligación legal.

- *Cierre de ciclo*

De cara a la aplicación de los materiales reciclados, un concepto de gran importancia es el denominado cierre de ciclo, referido al uso del material reciclado para la misma aplicación que generó el residuo, lo cual presenta las siguientes ventajas:

- **Estabilidad de los mercados:** La cantidad de residuo generado estará relacionado con la cantidad de producto fabricado, lo que asegura la estabilidad del mercado.
- **Características relacionadas con su procesabilidad más adaptables al producto:** Si por ejemplo se parte de un producto inyectado, lo habitual es que la fluidez de su producto reciclado esté en el rango del proceso de inyección, y por lo tanto, que se pueda volver a utilizar en dicho proceso de transformación.
- **Características relacionadas con la legislación más adaptable al producto:** Si no hay contaminación extra, la composición de un residuo será la del producto de partida, y la





misma que la del material reciclado. Por ello, si el producto de origen tenía una composición acorde a la legislación de producto, el material reciclado posterior tendrá también una composición acorde a dicha legislación, lo que facilitará su introducción en el sector.

No obstante, para cumplir la legislación se debe tener en cuenta también que el producto puede sufrir contaminación durante su uso, gestión y proceso de reciclado, y que además la legislación puede cambiar en el intervalo entre el que el material es comercializado y en el que se produce el material reciclado. Este hecho es común en productos denominados de media o alta vida. La vida de un producto es la que transcurre desde que es producido hasta que se convierte en residuo, el cual es muy variable dependiendo del producto y del sector al que pertenece. Así, un envase sería un ejemplo de producto de vida corta, un coche se trata de un producto de vida media y un producto del sector de la construcción sería de larga vida. Por este motivo, es más probable que haya cambios legislativos en un coche o en producto de la construcción que en un envase, siendo un aspecto muy importante a considerar en la actualidad, donde están apareciendo nuevas legislaciones de producto o legislaciones más generales y decisivas, tales como el Reglamento REACH.

6.1 REACH y materiales reciclados

El uso y la comercialización de sustancias químicas están regulados en Europa por el REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricciones de Productos Químicos). Es decir, REACH es un reglamento de la Unión Europea, adoptado para mejorar la protección de la salud humana y el medio ambiente frente a los riesgos que pueden plantear los productos químicos, al tiempo que se mejora la competitividad de la industria química de la Unión Europea. También promueve métodos alternativos para la evaluación del peligro de las sustancias a fin de reducir el número de ensayos en animales.

- *Reglamento REACH y materiales reciclados para contacto alimentario*

El documento de la Comisión Europea "*Una estrategia europea para los plásticos en una economía circular*", publicado en 2018, establece diferentes objetivos para implementar un enfoque de ciclo de vida más amplio para los plásticos. En el mismo las aspiraciones se centran principalmente en los envases de plástico como el embalaje, con un mercado de casi el 40 %¹⁵. Por este motivo, cabe hacer hincapié en la importancia de este reglamento en el sector alimentario.

De hecho, el embalaje representa más del 60 % del total de residuos plásticos generados anualmente en la UE. Con el fin de contrarrestar este aspecto la Comisión Europea declaró que para 2030, todo el plástico procedente de los envases que se comercializan en el mercado de la UE debe ser reutilizable o reciclable de una manera rentable. No obstante, todavía hay mucho trabajo por hacer para lograr este objetivo, ya que la tasa de reciclaje de los envases de plástico

¹⁵ PlasticsEurope 2019





actualmente es sólo 40 %, según datos de la Comisión Europea. Sin embargo, esta es una sobreestimación, ya que en la práctica este 40 % representa únicamente a los residuos plásticos que son "recolectados para ser reciclados", por lo que la tasa neta de reciclaje real del embalaje plástico es aún más bajo.

Además de mejorar las tasas de reciclaje, la Comisión Europea también declaró que es importante que los recicladores trabajen en estrecha colaboración con la industria química para ayudar a identificar aplicaciones más amplias y de alto valor para su producción. Esto, junto con la idea de una economía más circular, implica la preferencia de la UE para los escenarios de reciclaje en ciclo cerrado, en los que, por ejemplo, los envases de alimentos se reciclan para convertirse de nuevo en un material de contacto con los alimentos (*Food Contact Material*, FCM). Sin embargo, para ciertas aplicaciones de embalaje, todavía hay un largo camino que recorrer para lograr este objetivo de reciclaje de ciclo cerrado. De hecho, en el caso de envase en contacto con alimentos, se puede estimar que únicamente un 5% es hoy en día reciclado en circuito cerrado dentro de la UE.

Dentro de la UE, los recicladores mecánicos de plástico (para los FCM) están sujetos a diversos reglamentos, entre ellos el Reglamento marco (CE) Nº 1935/2004, Reglamento (CE) Nº 2023/2006 de la Comisión sobre buenas prácticas de fabricación, Reglamento de la Comisión (UE) No10/2011 sobre los MFC de plástico, Reglamento (CE) Nº282/2008 sobre plásticos reciclados como FCM y el Reglamento general (CE) Nº 1907/2006 relativo al registro, la evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REACH).

La interacción entre todas estas regulaciones, a menudo complicada de comprender, se esquematiza en la Figura 37:

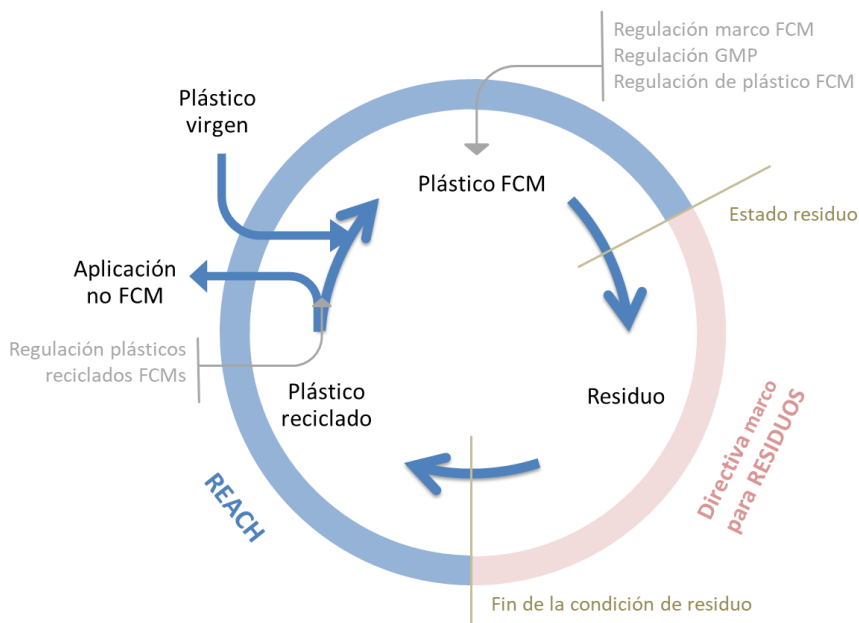


Figura 37. Representación gráfica de la aplicabilidad del REACH y las Regulaciones FCM en plásticos (reciclados) a lo largo de todo el ciclo de vida

Fuente: Waste Management 119 (2021) 315-329





Todas estas regulaciones son necesarias ya que garantizan la protección de la salud humana y el medio ambiente. Asimismo, aseguran el funcionamiento efectivo del mercado interno permitiendo la libre circulación de los MCF y/o la circulación de sustancias en ese mercado.

Cabe destacar que habitualmente el reciclaje se hace principalmente mediante el reciclado mecánico, donde el plástico lavado y clasificado, se vuelve a fundir y se procesa en un nuevo envase. Sin embargo, el proceso de reciclaje puede causar varias cuestiones relativas al uso seguro de los plásticos reciclados como embalaje de alimentos debido a un aumento de las posibles fuentes de contaminación que podrían migrar en el alimento, imponiendo así un riesgo para la salud humana. Para prevenir la comercialización de materiales contaminados, la UE ha establecido legislación vigente sobre el uso de materiales en contacto con alimentos (FCM) en la que se incluyen plásticos y plásticos reciclados. Esta legislación tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de los posibles efectos adversos del uso de esos materiales imponiendo varios requisitos para los recicladores.

Por este motivo, se ha establecido un marco general y coherente para la elaboración de instrumentos legislativos relacionados con los alimentos (incluidos los reglamentos mencionados anteriormente) en el marco del Reglamento de la legislación alimentaria general o el Reglamento (CE) Nº 178/2002, que se aplica a todas las etapas de la producción, la elaboración y la distribución de alimentos.

Aun así, el uso de plásticos reciclados como FCM - con la excepción de las botellas de PET - aún no se ha establecido con éxito, aspecto que se refleja claramente en el pequeño porcentaje de reciclaje de circuito cerrado de los envases de alimentos. Por este motivo, los desafíos principales para los reciclados incluyen la trazabilidad, el posible mal uso durante la vida y la separación de desechos de FCM y no FCM.

- *El REACH y los recicladores plásticos*

¿Se aplica el REACH a los recicladores plásticos?

En el ámbito de REACH, los polímeros se definen como sustancias. Como tal están exentos del registro de REACH, pero los monómeros y otros reactivos utilizados para fabricar el polímero deben ser registrados por los fabricantes o importadores de polímeros¹⁶.

El alcance de REACH está principalmente relacionado con la fabricación y uso de una sustancia. En términos de REACH, el ciclo de vida de una sustancia termina cuando la sustancia entra en la etapa de residuos. En ese punto, el contexto normativo de la sustancia está definido por el Reglamento de Residuos Directiva marco (Directiva 2009/98/CE y modificada en 2018 por la Directiva 2018/851/CE). Sin embargo, después de un reciclaje o un proceso de recuperación puede comenzar un nuevo ciclo de vida de la sustancia. Esta división, que se ilustra en la Figura 37 debería evitar la superposición de reglamentos y así evitar cualquier inconsistencia entre

¹⁶ Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, 2012





ambas regulaciones. Sin embargo, aunque los residuos como tales están excluidos de REACH, todavía hay influencia del REACH en el reciclaje donde el reglamento es aplicable a todo el ciclo de vida de una sustancia. El ciclo de vida termina con la etapa de residuos y un nuevo ciclo de vida comienza cuando la sustancia deja de ser un residuo.

Por otro lado, todas las formas de recuperación, incluido el procesamiento mecánico, siempre que den lugar a una o más sustancias como tales, en una mezcla o en un producto que hayan dejado de ser desechos, se consideran un proceso de fabricación. Por lo tanto, los recicladores de plásticos deben cumplir con las obligaciones de REACH de los fabricantes (de sustancias y mezclas) o de los fabricantes de artículos si fabrican un artículo a partir de residuos.

En el caso del reciclaje de plásticos, esto significa que la emisión y exposición durante el reciclaje a monómeros, otros reactivos (por ejemplo, agentes de injerto) o los aditivos no estabilizadores presentes en el polímero (por ejemplo, colorantes o lubricantes), deberían haber sido considerados en sus respectivos expedientes de registro. Sin embargo, la legislación no aclara cómo el reciclador debe ser consciente de las condiciones para un uso seguro. Para los usuarios intermedios de una sustancia, se comunican estas condiciones de uso seguro a través de la ficha de seguridad (SDS) obligatoria, que sin embargo es vital para garantizar la ausencia de efectos adversos para la salud humana una vez que los materiales son convertidos en productos.

¿Cómo pueden los recicladores de plástico hacer una SDS?

Para un productor de residuos no es obligatorio proporcionar una SDS. Ni siquiera los manipuladores de residuos tienen acceso a la evaluación de la seguridad química contenida en el expediente de registro de la sustancia.

No obstante, el reciclador tiene que considerar, independientemente del REACH, la legislación en materia de seguridad industrial que requiere que el empleador se cerciore del riesgo de las sustancias utilizadas. A ese respecto, podría ser beneficioso para el reciclador que el legislador reforzara los requisitos legales sobre la comunicación relativa a la naturaleza de los residuos y, por lo tanto, considerar la posibilidad de ir más allá de los requisitos actuales sobre clasificación de residuos.

En general, el reciclador pone una sustancia o mezcla de sustancias en el mercado, lo que desencadena una serie de requisitos de REACH. La mencionada exclusión de los residuos del Reglamento REACH ya no se aplica cuando los residuos dejan de ser residuos de acuerdo con la Directiva Marco de Residuos (Directiva 2009/98/CE y modificada en 2018 por la Directiva 2018/851/CE), lo cual también se ilustra en la Figura 37. Por lo tanto, es importante definir cuándo y dónde exactamente el producto procesado deja de ser un residuo y se convierte en una sustancia o mezcla donde el REACH tiene alcance.

Más allá de la exención de registrar sustancias, los recicladores tienen que aplicar todas las demás obligaciones. En resumen, deben proporcionar Hojas de Datos de Seguridad (SDS), aplicar la Notificación CLP y cumplir con las Restricciones y Autorizaciones si son fabricantes de





sustancias/mezclas. Si fabrican artículos, tienen que aplicar las obligaciones de registro, notificación e información pertinentes.

6.2 Plástico reciclado en el sector alimentario

Es conocido que el plástico es uno de los materiales más utilizados en todo el mundo en la fabricación de envases para alimentos, por lo que el reciclado en este sector es un aspecto clave. Actualmente es posible el empleo de materiales plásticos reciclados en contacto con alimentos. No obstante, el plástico reciclado solamente puede usarse en contacto con alimentos bajo ciertas condiciones, acorde a lo establecido por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), entidad evaluadora de la seguridad de estos materiales en la Unión Europea.

En la actualidad existe cierto recelo por parte de ciertas marcas comerciales y fabricantes de productos a la hora de utilizar plástico reciclado, debido a su temor a no cumplir con las normas de calidad. Para asegurar el cumplimiento de la legislación, una de las principales dificultades está relacionada con el origen del residuo, ya que en algunos casos los envases para alimentos que se desean reciclar han sido mezclados con envases destinados a otros usos, lo que ha podido provocar contaminación en el mismo.

- *Legislación vigente*

Como se ha comentado previamente, en la Unión Europea el plástico reciclado debe cumplir con la regulación de productos químicos **REACH**, según la cual este no puede contener sustancias sujetas a aprobación o clasificadas como muy preocupantes. Si además, el plástico está destinado al contacto con alimentos, **el proceso de reciclaje debe ser aprobado por la Comisión Europea** tras una evaluación de la EFSA, que debe garantizar que se han eliminado los contaminantes.

A continuación, en la Tabla 10 se muestran todas las disposiciones aplicables a materiales destinados a entrar en contacto con los alimentos:

Tabla 10. Disposiciones aplicables a materiales en contacto con alimentos

REGLAMENTO	CONTENIDO
Disposiciones comunitarias de directa aplicación	
Reglamento (UE) 10/2011 14 de enero de 2011	Materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.
Reglamento (CE) 282/2008 27 de marzo de 2008	Materiales y objetos de plástico reciclado destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 2023/2006.
Reglamento (UE) 284/2011 22 de marzo de 2011	Condiciones específicas y procedimientos detallados para la importación de artículos plásticos de poliamida y melamina para la





cocina originarios o procedentes de la República Popular China y de la Región Administrativa Especial de Hong-Kong, China.

Disposiciones nacionales

Real Decreto 846/2011

17 de junio

Condiciones que deben cumplir las materias primas a base de materiales poliméricos reciclados para su utilización en materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.

A nivel comunitario los materiales plásticos en contacto con alimentos están regulados por el **Reglamento (UE) Nº 10/2011 de la Comisión**, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, que se establece como una medida específica de conformidad con el artículo 5 del Reglamento marco.

Los aspectos principales que se regulan en este reglamento son:

- Listas positivas: Son listas a nivel europeo donde se incluyen los monómeros u otras sustancias de partida, aditivos, auxiliares para la producción de polímeros (con excepción de los disolventes) y macromoléculas obtenidas por fermentación microbiana que pueden ser empleadas.
- Migraciones globales y específicas: Referidas al producto acabado, están relacionadas con la transmisión de sustancias desde el envase al alimento que contiene.
- Trazabilidad: Evalúa la posibilidad de encontrar y seguir la trayectoria que ha seguido un determinado material u objeto en todas las etapas de fabricación, transformación y distribución.
- Ausencia de modificaciones organolépticas

En la Unión Europea, **el Reglamento (CE) 282/2008** permite el uso de materiales reciclados en contacto con alimentos bajo unas estrictas exigencias.

Concretamente, solo pueden comercializarse los materiales que contienen plástico reciclado que se obtiene de un proceso de reciclaje autorizado, y sobre el que después la EFSA emita un dictamen favorable. Si la evaluación es positiva, la Comisión Europea incluye el proceso de reciclado en un registro comunitario y los materiales plásticos reciclados deben ir acompañados de una declaración de conformidad, informa la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN).

Este reglamento permite aclarar las condiciones de uso en las que está permitido el uso de material reciclado en contacto con alimentos, diferenciándose tres situaciones:

- ***Reciclado procedente de un recorte industrial (scrap)***: En este caso se sigue el reglamento 10/2011, es decir, la legislación básica aplicada a la material virgen.





- **Reciclado tras barrera funcional:** Tras una barrera funcional (capa en el interior de los materiales y productos en contacto con alimentos que impide la migración de las sustancias que están detrás de ella) puede utilizarse material reciclado a priori no apto para contacto con alimentos. Dado que en este caso existen ciertas limitaciones, el concepto de barrera funcional viene expresamente definido en el Reglamento 10/2011/CE.
- **Reciclado que requiere una autorización de planta:** En el caso de que el residuo de partida no se trate de un scrap, es decir, que se trate de un residuo post-consumo procedente de un producto que era apto para contacto alimentario, en este caso debe aplicarse en Reglamento 282/2008, requiriendo además una autorización. Igualmente, deberá seguirse la legislación básica, debiendo cumplir la misma legislación que el material virgen (listas positivas, migración global y específica, trazabilidad y no transmisión de olores ni sabores).

Todos los materiales plásticos que se comercialicen en la Unión Europea deberán de ser conformes, además de con su normativa específica (Reglamento 10/2011), con lo dispuesto en el **Reglamento marco 1935/2004** que recoge los requisitos generales a cumplir por los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con los alimentos. Asimismo, deberán fabricarse de conformidad con el **Reglamento 2023/2006** que establece las buenas prácticas de fabricación aplicables a todos los materiales en contacto con alimentos.

Además, en la fabricación de capas plásticas de materiales y objetos plásticos únicamente pueden utilizarse las sustancias autorizadas del **anexo I del Reglamento 10/2011** en la que se incluyen: monómeros o sustancias de partida, aditivos (se excluyen los colorantes), auxiliares para la producción (excepto los disolventes) y macromoléculas obtenidas por fermentación microbiana.

Por otro lado, los materiales y objetos plásticos no deben ceder sus constituyentes a los alimentos en cantidades superiores a las establecidas. Para ello, se establecen límites de migración específica, para determinadas sustancias, y límites de migración global, así como los ensayos de migración para demostrar la conformidad del material.

Finalmente, en las fases de comercialización, excepto en la venta al por menor, los materiales plásticos deben acompañarse de una declaración de conformidad. Además, los operadores económicos deberán disponer de documentación apropiada que demuestre que estos productos son conformes.

- *Guías interpretativas*

La Comisión Europea y el Laboratorio de Referencia europea en Materiales en Contacto (JRC), publican en sus webs guías que sirven de ayuda a los fabricantes y administradores en el campo de los materiales destinados al contacto con los alimentos. Estas guías son públicas y pueden ser consultadas desde las webs específicas o desde los enlaces presentes en la siguiente tabla:





Tabla 11. Guías interpretativas

GUÍA	CONTENIDO
Reglamento (UE) N° 10/2011	Mediante la exposición en siete capítulos, esta guía revisa aquellos puntos del Reglamento (UE) N°10/2011 que pueden resultar conflictivos a la hora de aplicarlo por parte tanto del operador como de la administración.
Declaración de conformidad del Reglamento (UE) N° 10/2011.	Basándose en el modelo de declaración de conformidad establecido en el Reglamento (UE) N° 10/2011, establece: - Tipos de operadores implicados en la fabricación/distribución/venta de un material plástico destinado al contacto con los alimentos. - Roles que tiene en este proceso cada uno de los participantes, poniendo en conocimiento tanto de los operadores como de las autoridades de control la documentación que se debe de aportar para cada declaración de conformidad y etapa.
Aplicación de los modelos de migración	Publicada por el Laboratorio de Referencia Europeo en Materiales destinados al Contacto con los Alimentos (JRC), con sede en Parma, consiste en una actualización de la guía de modelos de migración ya existente. Se trata de establecer una ayuda a los usuarios de los modelos de difusión utilizados para predecir valores de migración. Se proporcionan, a su vez, tablas de orientación explicativas y ejemplos prácticos de modelado de migración.

Estas guías son “documentos vivos”, es decir, están sujetas a cambios siempre y cuando las evidencias científicas o técnicas así lo requieran, y aunque no son de obligado cumplimiento puesto ya que se trata de meras guías, sí es recomendable su aplicación para actuar de forma similar en todos los Estados Miembros así como a nivel nacional.

6.3 Plástico reciclado en el sector eléctrico-electrónico

Los plásticos son esenciales en la fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) y representan aproximadamente el 20 % de todos los materiales que componen estos aparatos. No obstante, la mayoría de ellos no están diseñados para su recuperación y reutilización. Así, de los más de 12 millones de toneladas de residuos electrónicos que se esperan en el año 2020 en Europa (UE, Noruega y Suiza), se estima que 2,5 millones de toneladas (2 %) serán plásticos.

En cuanto a los datos recogidos a nivel mundial, se estima que solo el 20 % de los residuos electrónicos se reciclan a través de canales apropiados. Y de ellos, apenas un 10 % del plástico de mayor calidad presente en estos bienes, denominados duraderos, se recicla.

Actualmente, se clasificarán los AEE se clasifican en 7 categorías según lo dispuesto en el Real Decreto 110/2015. Estas categorías son las siguientes:

- Aparatos de intercambio de temperatura
- Monitores, pantallas y aparatos con pantallas de superficie superior a 100 cm²





- Lámparas
- Grandes aparatos (con dimensión exterior superior a 50 cm)
- Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)
- Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)
- Paneles fotovoltaicos grandes (con una dimensión exterior superior a 50 cm)

- *El Real Decreto 110/2015*

En España, la gestión de los RAEE viene marcada por el **Real Decreto 110/2015**, de 20 de febrero de 2015, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), una norma ampliada y renovada que pretende detallar un modelo de gestión de los RAEE más eficiente que el existente hasta entonces. Este Real Decreto transpone la normativa comunitaria contemplada en la Directiva 2012/19/UE e incorpora a su vez lo establecido en la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados. En el mismo se incluye una batería de nuevas medidas para mejorar la recogida separada y la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

En su preámbulo, el Real Decreto 110/2015 parte del reconocimiento del **grave problema que suponen los residuos procedentes de los aparatos eléctricos y electrónicos** ya que los ciclos de innovación son cada vez más breves y la sustitución de los aparatos se acelera, convirtiendo los AEE en una fuente creciente de residuos. Por eso es importante poner en relieve la gestión de estos residuos y se requiere intensificar las medidas y esfuerzos de todos los Estados miembros de la Unión Europea. Ante esta situación, la legislación prioriza dos líneas de acción fundamentales:

- la prevención en la generación de esos residuos y
- la preparación de los aparatos para su reutilización.

- *Productores de aparatos electrónicos y eléctricos: Responsabilidades y obligaciones*

Responsabilidades del productor

El Real Decreto 110/2015, aunque marca las obligaciones de todos los actores implicados en el proceso, incluyendo usuarios y administraciones, deja bien claro que el responsable fundamental de financiar la gestión de los residuos es el productor del aparato, lo que denomina la responsabilidad ampliada del productor. De esta forma, al vincular al fabricante en la financiación de la gestión de los residuos se espera que se incentiven mejores diseños de los AEE que faciliten su desmontaje, reparación o reciclado o aumento de su vida útil (evitando la obsolescencia programada) y que, junto con la incorporación de un menor contenido en sustancias peligrosas, abaraten y mejoren la gestión de los residuos, siendo esta función el pilar de la aplicación de la responsabilidad ampliada del productor.





Obligaciones del productor

Son obligaciones del productor:

- La inscripción en el Registro Integrado Industrial de carácter estatal donde deben declarar su condición de productor de AAE a la Comunidad Autónoma donde tenga su sede social y memoria anual de actividad; marcado o etiquetado correspondiente de los aparatos que comercializan.
- La adhesión a un sistema colectivo de responsabilidad ampliada del productor o el establecimiento de un sistema individual de responsabilidad ampliada del productor, todo ello mediante respectivo convenio y autorización por parte de la Comunidad Autónoma.
- La financiación de los costes de la recogida y gestión de los aparatos que ponen en el mercado.

Asimismo, la normativa europea y su transposición en España impuso restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en los AEE, tales como plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, etc., de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 12:

Tabla 12. Restricciones de uso de sustancias en los RAEE

SUSTANCIA	CONTENIDO (%)
Plomo	0,10
Mercurio	0,10
Cadmio	0,01
Cromo hexavalente	0,10
Polibromobifenilos (PBB)	0,10
Polibromodifeniléteres (PBDE)	0,10

6.4 Plástico reciclado en el sector de la construcción

En la actualidad aproximadamente uno de cada cinco materiales plásticos es consumido en el sector de la construcción, que aprecia en el plástico significativas ventajas como su ligereza, su óptima procesabilidad y la flexibilidad que aporta al diseño.

Este sector, con aproximadamente un 20 % del consumo total de materiales plásticos, es el segundo sector tras el del envase y embalaje. En el mismo encontramos materiales plásticos en aplicaciones muy diversas, como puentes y edificios (dentro de la propia estructura con los materiales termoestables como resinas epoxi, poliéster, etc.) interior de edificios (materiales aislantes, conducción de electricidad, canaletas, tuberías, etc.) o mobiliario urbano (conos, vallas, marquesinas, papeleras, etc.).

Este uso extendido hace que uno de los retos de los materiales plásticos en el sector de la construcción sea mejorar el final de su vida útil, ya que actualmente más del 40 % de los residuos





plásticos que se generan anualmente en España van al vertedero. Por este motivo es necesario cumplir la denominada jerarquía de residuos plásticos. Esta jerarquía indica que la opción prioritaria es la prevención, seguida de la reducción de residuos (tanto en cantidad como en posible peligrosidad), la preparación para la reutilización, el reciclado y fomento de otro tipo de valorización (incluida la energética). Con ello se pretende evitar en la mayor medida posible el depósito en el vertedero o la incineración sin recuperación energética.

Una gestión satisfactoria de residuos de construcción y demolición solo puede llevarse a cabo si existen las condiciones marco y las políticas adecuadas. Para que eso sea posible es de vital importancia el diálogo entre los actores públicos y privados en el ámbito de la gestión de residuos de la construcción y demolición.

- *Un marco reglamentario adecuado*

Una regulación adecuada de la gestión de los residuos de la construcción y demolición requiere que quede clara la propiedad de los residuos, con arreglo a los marcos jurídicos nacionales existentes y las condiciones contractuales entre los propietarios iniciales de los inmuebles e infraestructuras, el contratista (de demolición), el poseedor intermediario (por ejemplo, el operador de clasificación), el operador de reciclaje final y el usuario final de los productos reciclados.

- *Permisos y licencias de demolición y reforma*

Las autoridades locales se ocupan de expedir permisos y licencias de demolición y reforma. Dichos permisos permiten que las administraciones locales promuevan y lleven a cabo el desarrollo de sistemas de gestión de recursos de alta calidad basados en las auditorías previas a la demolición.

Es muy importante el proceso de evaluación y seguimiento posterior a la demolición. Exigir la presentación de informes de demolición después de la realización de las obras permite a la administración local supervisar si se están aplicando de forma efectiva dichos sistemas. Se anima a las administraciones locales a proporcionar incentivos al operador de demolición para que siga ascendiendo en la jerarquía de los residuos. A la hora de diseñar el marco reglamentario para los residuos de construcción y demolición, es importante mantener al mínimo la carga administrativa.

6.5 Plástico reciclado en el sector de la automoción

En el sector de la automoción el reciclado está regulado en gran medida por la **Directiva 200/53/CE** y sus modificaciones, la cual tiene relación con los vehículos al final de su vida útil y establece ciertas restricciones en cuanto a determinadas sustancias, tal y como muestra la Tabla 13:





Tabla 13. Restricciones de uso de sustancias en los vehículos

SUSTANCIA	CONTENIDO (%)
Plomo	0,10
Mercurio	0,10
Cadmio	0,01
Cromo hexavalente	0,10

Como es lógico, estas limitaciones afectan tanto a los materiales reciclados que se desean incorporar como a los materiales reciclados procedentes de este sector. Por otro lado, esta legislación también exige tener en consideración los procesos de desmontaje, reutilización y valorización de los vehículos cuando se realiza el diseño y fabricación de los productos. Concretamente, deben cumplir los siguientes aspectos:

- Que los vehículos nuevos sean reutilizables o reciclables un mínimo del 85 % en peso del vehículo.
- Reutilizables o valorizables hasta un mínimo del 95 % del peso del vehículo.

Esta legislación establece otros aspectos, como la obligación de los fabricantes, importadores y distribuidores a facilitar sistemas de recogida de los vehículos fuera de uso, así como de las piezas empeladas en la reparación de los turismos. Asimismo, establece la necesidad de dar de baja al vehículo y el registro o permiso para los centros de tratamiento de estos residuos, donde previamente a cualquier tratamiento se deben retirar los materiales y componentes peligrosos.

6.6 Plástico reciclado en el sector de las mercancías peligrosas

Como es lógico dadas sus características, los residuos peligrosos tienen una regulación europea muy estricta y deben ser recogidos por un gestor de residuos autorizado para su adecuado tratamiento posterior. En cuanto a los recipientes de material plástico más empleados para el transporte de sustancias y mezclas peligrosas corresponden principalmente a bidones, cajas y envases compuestos formados por un recipiente de plástico y una protección exterior de metal, cartón o contrachapado. Estos envases tienen unos requerimientos elevados que garanticen la seguridad durante su vida útil y que pasa por la homologación de los mismos.

Los controles previos a la homologación están directamente relacionados con la calidad, y van desde la materia prima, pasando por el proceso de fabricación, garantizando peso, espesor, rigidez de las paredes, solidez de los estrangulamientos destinados a los tapones, aspecto, transparencia, brillo, etc., así como controles de los propios envases que incluyen ensayos de resistencia química y de resistencia física (ensayos de caída, estanqueidad, presión interna, apilamiento) y pruebas complementarias de permeabilidad, llevados a cabo todos ellos en los Laboratorios Acreditados de Ensayos para su posterior homologación.

Algunos de estos envases son de más de un uso y pueden reutilizarse bajo condiciones controladas, sin embargo, la gran mayoría son envases de un solo uso. A menudo, una vez utilizados, estos envases son desechados como residuos peligrosos, puesto que parte del contenido que llevaban ha quedado adsorbido en la superficie del plástico. Si la gestión de estos





residuos no se hiciera de forma adecuada podría suponer un grave peligro para la salud pública y el medio ambiente. Por este motivo, estos residuos peligrosos tienen una regulación europea muy estricta y deben ser recogidos por un gestor de residuos autorizado.

En el caso de los envases plásticos que han contenido sustancias o mezclas peligrosas la gestión más adecuada es la descontaminación para su posterior reciclado. Este proceso consiste en el llamado 'triple enjuagado y secado', y consiste en que los residuos plásticos, tras ser triturados, pasan por sucesivos lavados y procesos de secado, empleando para ello grandes cantidades de agua y agentes químicos de limpieza, que suponen un alto consumo de energía. Además, este proceso implica la generación de aguas residuales que deben gestionarse de forma adecuada.

Una vez descontaminado, el material plástico se seca y sigue el proceso habitual de reciclado mediante el proceso de extrusión. El material plástico reciclado que se obtiene muestra a menudo unas propiedades inferiores a las del material plástico con el que se fabricó el envase original, ya que el proceso de descontaminación merma sus propiedades. Esto hace que el nuevo material reciclado solo pueda emplearse en aplicaciones de bajo valor añadido, no siendo posible su empleo en la fabricación de nuevos envases para sustancias y mezclas peligrosas.

- *Trasporte de mercancías peligrosas*

El transporte de mercancías peligrosas está regulado por el Comité de Expertos del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas. En cuanto a regulaciones, por un lado está el ADR, que es la regulación del transporte por carretera. Por otro lado, existen otras regulaciones, tales como el RID (Transporte por ferrocarril), IMDG (transporte por mar) o DGR/OACI (transporte aéreo).

Las sustancias y las mezclas se acogen a estos acuerdos, dependiendo principalmente de su grado de peligrosidad y la cantidad. En cuanto a los envases que las contienen, estos igualmente deben ser controlados y homologados. Así, debe controlarse tanto la materia prima como el proceso. Concretamente, deben incluirse ensayos tales como la resistencia química (compatibilidad entre envase y contenido) y la resistencia física (ensayos de caída, estanqueidad, presión hidráulica, apilamiento y prueba de estanqueidad), ensayos que deben hacerse en laboratorios acreditados.

En cuanto al uso de material reciclado en estos envases, éstos deben ser homologados de igual manera que cuando se fabrican con material virgen. En relación con ello, cabe destacar la norma UNE-EN ISO 16103:2006, que determina los métodos de ensayo y asegura la calidad. Asimismo, esta normativa establece que los envases reciclados homologados deben llevar el marcaje (REC-PE).

- *Requisitos del material reciclado*

En cuanto al material reciclado empleado, este debe cumplir los siguientes aspectos:

- Lote: El lote máximo corresponde a 25 toneladas, formado por material homogéneo con características de fluidez, densidad y tracción controladas.





- Recogida: Es necesario tener evidencias de los contenidos anteriores de los envases, identificándose el material y la fecha de fabricación. Además, deben ser excluidos los residuos procedentes de envases que hayan contenido productos que hayan podido afectar al material plástico o sustancias peligrosas. Igualmente, deben desecharse aquellos envases que tengan más de 10 años o que presenten ciertos signos de deterioro, que sea imposible su reprocesado o que contengan el símbolo REC.
- Inspección de verificación: La inspección que garantiza los requisitos de recogida expuestos, es necesario llevar una inspección que asegure que no se mezclen plásticos distintos ni diferentes tipos de transformación. Asimismo, se exige que los envases sean limpiados tanto por el interior como por el exterior.
- Calidad final del producto: La calidad del producto se analiza verificando diferentes propiedades del material, tales como el índice de fluidez, la densidad o la resistencia a la tracción. Igualmente, se analizan las propiedades de resistencia química y resistencia física que se exigen para la homologación del envase, al igual que en el caso de los productos fabricados con material virgen.





7 EXPERIENCIAS

7.1 Casos de éxito de utilización de granza de material reciclado en la industria

Son numerosas las empresas que, aplicando estrategias de economía circular, han conseguido hacerse un hueco en su sector y demostrar que la transición hacia un modelo más sostenible no solo es posible, sino que también reporta grandes beneficios económicos.

A continuación, se muestran ejemplos de casos de éxito en los que se han fabricado diferentes productos a partir de granza de material reciclado de diferente naturaleza y origen. Estos ejemplos han sido elegidos entre los numerosos existentes por su grado de innovación, su contribución al medio ambiente o por la actividad económica a la que responden, con el objetivo de intentar demostrar la transversalidad y versatilidad que ofrece a economía circular, pudiéndose aplicar en sectores de tipología muy diversa.

- *SEA2SEE: Gafas de sol obtenidas a partir de granza fabricada con residuos procedentes del mar*

Gracias a una gran inversión en I + D, la empresa Sea2see, compañía italiana con sede en Barcelona, consiguió reciclar las redes de pesca y cabos en un material resistente para fabricar monturas de gafas de sol de alta calidad. Como puede verse en la Figura 38, partiendo de los residuos marinos se fabrica la granza de material plástico que servirá como materia prima para la fabricación de las monturas.



Figura 38. Monturas de gafas fabricadas a partir de granza de residuos plásticos procedentes de los océanos

Cabe destacar que gracias a las comunidades pesqueras que colaboran depositando redes abandonadas, cuerdas y plásticos en más de 100 contenedores colocados en 20 puertos españoles, se recicla 1 tonelada cada 3 días. Cada gafa supone la limpieza de 10 m² de océano.

- *SAICA: Granza de LDPE reciclado para soluciones de embalaje flexible a partir de residuos procedentes del sector papelero*

Industrias Celulosa Aragonesa (SAICA) es una empresa de Zaragoza que lidera el sector del papel en España siendo el tercer actor más destacado de este mercado a nivel europeo. La compañía tiene como objeto principal desarrollar y producir “soluciones sostenibles para el embalaje de papel y cartón ondulado y su posterior recuperación”.





Con su estrategia de sostenibilidad esta compañía ha revolucionado la industria del papel y ha conseguido, a través de la innovación tecnológica, optimizar los recursos, reducir el uso de agua en la fabricación de papel y valorizar los recursos. Con este objetivo, recupera papel, plástico y cartón. Posteriormente, recicla el material recuperado, reduciendo de esta manera la cantidad de materia prima necesitada. Es un proceso circular que está en constante funcionamiento.

Uno de sus proyectos más destacados es Natur Cycle Plus, pionero a nivel europeo, basado en el reciclaje del polietileno de baja densidad, dando como producto la granza reciclada que se muestra en la Figura 39:



Figura 39. Granza de LDPE reciclado procedente de la industria papelera

Fuente: <https://www.saica.com/es/saica-natur/>

Con este proyecto se consigue producir, a través de diferentes procesos de control, una granza de altas prestaciones, capaz de sustituir a la granza virgen y con un alto grado de procesabilidad. Esta granza se utiliza, posteriormente, para la creación de soluciones de embalaje flexible, tales como los films plásticos para el paletizado o la agrupación de botellas en packs de varias unidades, entre otros productos. La fábrica produce anualmente 13.000 toneladas de esta granza homogénea.

Otro producto a destacar de esta compañía es una bolsa para productos no alimentarios ni cosméticos fabricada a partir de polietileno de baja densidad reciclado, cuya imagen se muestra en la Figura 40:



Figura 40. Bolsa flexible fabricada a partir de la granza de LDPE reciclado de la industria papelera

<https://www.saica.com/es/desarrollo-sostenible/?id=economia-circular>

En este nuevo producto el polietileno virgen se ha sustituido por reciclado, procedente de la fábrica de Saica Natur Cycle Plus, dedicada al reciclaje de granzas de este material.





Una de las principales ventajas de este nuevo producto es que permite ahorrar costes en su fabricación, ya que el polietileno reciclado es más barato que el virgen. Además, el producto no sufre ningún tipo de descompensación en cuanto a funcionalidad, mecanismo y peso que el utilizado hasta ahora. Asimismo, al utilizar materiales reciclados, el impacto en el medio ambiente también es notorio, ya que se reducen tanto las emisiones de CO₂ a la atmósfera, como el uso de agua en el proceso y el envío de polietileno al vertedero. La estructura de este nuevo producto consta de tres capas, siendo la capa central (60 %) la que se realiza con el polietileno de baja densidad reciclado.

El desarrollo de este nuevo producto forma parte de la apuesta de Saica por la Economía Circular, ya que Saica Natur recoge el polietileno de baja densidad que posteriormente envía a Cycle Plus para su conversión en granzas recicladas que posteriormente se procesarán en film de polietileno reciclado para la creación de estas bolsas. Asimismo, el nuevo producto va en consecución del objetivo de Vertido Cero.

Además, este proyecto cuenta con la certificación europea EuCertPlast en reciclaje de rLDPE post-consumo, lo cual significa que la empresa puede utilizar la ecoetiqueta “Blue Angel”, que distingue a los productos con baja incidencia medioambiental en su ciclo de vida, y que acredita que esta planta cumple con un elevado nivel de exigencia y calidad en transparencia y trazabilidad del residuo post-consumo.

- *ZIKLA: Carril bici ZEBRA fabricado con granza de PVC*

La empresa ZICLA es la responsable de otra experiencia de éxito en la utilización de material reciclado. Concretamente, ha desarrollado EL SEPARADOR de carril bici ZEBRA, conseguido a partir del reciclaje del plástico, cuya imagen se muestra en la Figura 41:



Figura 41. Separador de carril bici ZEBRA

Fuente: <https://www.zicla.com/project/separador-zebra-mejora-seguridad-usuarios-carril-bici/>

Este producto podría ser un ejemplo más de la revalorización de residuos aparentemente inservibles. Sin embargo, detrás se encuentra la empresa ZICLA, que ha hecho de la fabricación, distribución y venta de mobiliario urbano y elementos de tráfico a partir de residuos reciclados, un negocio con muchas perspectivas de futuro.

De hecho, el separador de carril bici ZEBRA no es el único producto de la empresa, aunque sí uno de los más conocidos e internacionalizados del catálogo. Debe su existencia a residuos plásticos procedentes de cables eléctricos, persianas y tuberías. Según los últimos datos que





recoge la empresa en su web, ya se han colocado más de 30.000 unidades en diferentes puntos de España y Francia durante los tres últimos años.

La empresa responsable de este producto de éxito además de trabajar con plástico, trabaja con vidrio, tetrabrik, áridos, caucho, papel y textil. Materiales que se reutilizan y aprovechan para desarrollar más de 40 productos diferentes de un diseño innovador, coste competitivo y fabricación local, con cuyas ventas evitan cada año más de 115.000 kg de residuos en los vertederos y 255.000 kg de emisiones de CO₂.

Es conocida la problemática asociada a la presencia de residuos plásticos en los océanos. Por ello, es necesario que tanto la cantidad de plástico vertida como la existente en los océanos se reduzcan a cero. Poco a poco, hay quien sí toma parte de la solución, recogiendo dichos plásticos y dándoles una nueva utilidad mediante su reciclado. Ejemplo de ello son los siguientes productos, fabricados a partir de residuos plásticos procedentes de los océanos:

- *BUREO: Monopatines y juegos de mesa a partir de granza de redes de pesca*

Otro ejemplo son los monopatines y juegos de mesa fabricados a partir de redes de pesca por la empresa chilena Bureo, cuya imagen se muestra en la Figura 42:



Figura 42. Monopatín y juego de mesa fabricados con granza de material reciclado

El proceso desarrollado por la empresa consta de las siguientes etapas:



Figura 43. Proceso de fabricación de la empresa Bureo partiendo de redes de pesca
Fuente: <https://bureo.co/>

Para cada monopatín se necesitan en torno a 6 metros de redes de pesca (aproximadamente 1 kg). Una vez recogidas, se limpian y segregan los diferentes materiales, los cuales son





procesados para obtener el material en forma de granza, a partir del cual se fabrican productos de alto valor añadido, entre los que destacan monopatinés, gafas de sol o juegos de mesa.

- *VEPA: Muebles a partir de granza de PET en colaboración con Plastic Whale*

La marca holandesa de mobiliario de oficinas VEPA cuenta con una colección de muebles elaborada a partir de residuos plásticos recogidos de las aguas, aunque en este caso no de mares y océanos, sino de los canales de Ámsterdam. Para ello la empresa contó con la colaboración de Plastic Whale, una iniciativa centrada en recuperar residuos de este material vertidos en las aguas de la capital holandesa.

La colección incluye el diseño de una mesa de reuniones, sillas, una lámpara y paneles acústicos, todos ellos inspirados en las ballenas y elaborados a partir de botellas de PET recuperadas de los canales.

El proceso de fabricación de estos productos se esquematiza en la Figura 44:

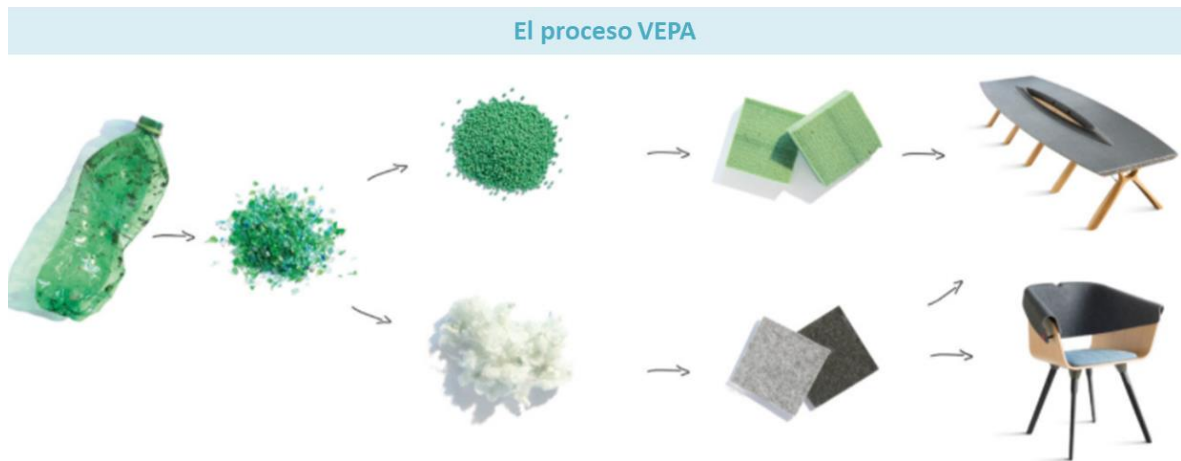


Figura 44. Proceso de fabricación de muebles partiendo de PET reciclado de la empresa VEPA

Fuente: <https://vepa.nl/>

Acorde a lo mostrado en la figura, para reutilizar las botellas de PET que terminan en los canales, el océano o los vertederos, en primer lugar deben ser separadas por color. Posteriormente las botellas se limpian y se trituran, dando lugar a las escamas de plástico. A continuación, las escamas se procesan para dar lugar a la granza plástica, por un lado, y fibra por el otro. Finalmente, el material en granza se utiliza para hacer placas de espuma y las fibras se convierten en esteras de fieltro PET. Ambos materiales se utilizan como base para nuevos productos.

- *QACTUS: Filamento para impresoras 3D*

El filamento para impresión 3D es un producto que abarca muchas aplicaciones, ya que puede fabricarse a partir de muchas matrices poliméricas diferentes, partiendo de granza plástica. No obstante, los materiales más utilizados, y por lo tanto, que más residuo generan, son el PLA y el ABS.





Como regla general, el filamento tendrá buena calidad si la granza con la cual se fabrica es homogénea y sin impurezas. Hay que considerar que obtener una granza de calidad utilizando plástico reciclado es en general más complejo que obtenerla a partir de plástico virgen. Dado que los residuos plásticos que genera la tecnología de la impresión 3D FFF generalmente están limpios y bien separados, son materiales reciclados de gran interés, tanto para la fabricación de nuevos filamentos para impresión 3D como para otras aplicaciones.

Afortunadamente ya hay empresas que están fabricando filamentos de excelente calidad con plásticos reciclados, demostrando que esta tecnología está para solucionar el problema del plástico, no para aumentarlo. Un ejemplo de ello es la empresa QACTUS, que tiene entre sus productos un filamento de ABS/PC de material 100% reciclado, a partir del cual pueden fabricarse todo tipo de productos mediante impresión 3D FFF. En la Figura 45 se muestra una imagen de uno de los filamentos que la compañía fabrica junto con un ejemplo de piezas fabricadas con él.



Figura 45. Filamento de ABS/PC reciclado y macetas fabricadas con el mismo
www.QACTUS.cl

En este caso el proceso de reciclaje sería el esquematizado en la Figura 46:



Figura 46. Proceso de fabricación de filamento de material reciclado
www.QACTUS.cl

Dado que la impresión 3D es una tecnología cada vez más presente en la industria, será una tecnología generadora de residuos, pero también será capaz de absorber los propios, o incluso los procedentes de otros sectores, por lo que es de gran interés introducir estrategias de economía circular.





- *HUMANSCALE: Silla de oficina Smart Ocean a partir de granza de Nylon*

Otro ejemplo de producto obtenido a través de redes de pesca es la silla de oficina Smart Ocean. Su diseño sostenible es el resultado de la colaboración entre el fabricante Humanscale y Bureo. Las redes recuperadas se transforman en pellets de nylon reciclado que sirve después para la fabricación de la silla.



Figura 47. Silla fabricada a partir de granza de Nylon
Fuente: <https://sp.humanscale.com/smartocean/>

- *JOLAS: Primer parque infantil realizado con plásticos procedentes del contenedor amarillo y mobiliario urbano para parques y jardines*

La empresa Jolas ha instalado en la localidad guipuzcoana de Zarautz el primer parque infantil realizado con plásticos reciclados procedentes del contenedor amarillo. En colaboración con el Ayuntamiento de Zarautz, la empresa ha logrado fabricar un parque infantil con cerca de 400 kilos de residuos del contenedor amarillo.



Figura 48. Parque infantil fabricado con material reciclado procedente del contenedor amarillo
Fuente: Residuos Profesional

Asimismo, esta empresa, impulsora de la economía circular en sus productos, fabrica también circuitos de gimnasia y mobiliario urbano fabricados con plástico reciclado. La iniciativa no solo es más ecológica, sino también más económica y resistente que otros productos hechos con madera.





Figura 49. Mobiliario urbano fabricado con material plástico reciclado
https://www.jolasplay.com/es/material_reciclado/

- *GREEN TOY: Juguetes fabricados a partir de granza de LDPE y PP reciclado*

La marca de juguetes GREEN TOY cuenta con juguetes elaborados a partir de materiales reciclados. Concretamente, parte de residuos post-consumo de LDPE o PP.



Figura 50. Proceso de fabricación de juguetes partiendo de granza de rLDPE y Rpp
Fuente: <https://www.greentoys.com>

Estos son solo ejemplos de las numerosas aplicaciones a las que se pueden dirigir los materiales plásticos reciclados, las cuales sin duda crecerán si las empresas siguen apostando por la economía circular como una parte importante de su crecimiento. Para ello, es necesario considerar los residuos como materias primas secundarias que pueden ser reintegradas en el ciclo productivo, para lo cual es requisito indispensable la colaboración entre los agentes que participan en este ciclo, a fin de proporcionar productos con una mayor facilidad de reciclaje, junto con mejoras en la recogida y transporte de residuos, con el objetivo final de potenciar el mercado de materias primas secundarias e innovar en procesos.





8. OPORTUNIDADES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO¹⁷

- *La nueva política Europea*

Una industria de plástico inteligente, innovadora y sostenible, donde el diseño y la producción respetan plenamente las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje, traerá crecimiento y empleo a Europa y ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE y la dependencia de combustibles fósiles importados.

Además, los requisitos de las nuevas políticas europeas derivarán en oportunidades para el sector, siendo aspectos clave los siguientes:

- Apuesta por el **diseño de envases**: Los cambios en la producción y el diseño permiten mayores tasas de reciclaje de plásticos para todas las aplicaciones clave. Para 2030, más de la mitad de los residuos de plástico generados en Europa se deberá poder reciclar. La recolección separada de desechos plásticos alcanzará niveles muy altos.
- La capacidad de reciclaje de plásticos de la UE se ampliará y modernizará significativamente. Para 2030, la capacidad de clasificación y reciclaje debe haberse cuadruplicado desde 2015, lo que conllevará la creación estimada de 200.000 nuevos puestos de trabajo, distribuidos por toda la UE.
- Gracias a la **mejora de la recolección separada y la inversión en innovación**, habilidades y aumento de capacidades, la exportación de desechos de plásticos mal clasificados se deberá haber eliminado. Los plásticos reciclados se convertirán en una materia prima cada vez más valiosa para las industrias.
- La **cadena de valor del plástico estará mucho más integrada**, y la industria química colaborará estrechamente con los recicladores de plásticos para ayudarlos a encontrar aplicaciones más amplias y de mayor valor para su producción. Las sustancias que dificultan los procesos de reciclaje deberán ser reemplazadas o eliminadas.
- **El mercado de plásticos reciclados e innovadores será un mercado de éxito**, con claras perspectivas de crecimiento a medida que más productos incorporen contenido reciclado. La demanda de plásticos reciclados en Europa se multiplicará, proporcionando un flujo estable de ingresos para el sector del reciclaje y la seguridad laboral para su creciente fuerza de trabajo.
- Un mayor reciclaje de plástico ayudará a **reducir la dependencia de Europa de los combustibles fósiles** importados y reduce las emisiones de CO₂, de conformidad con los compromisos del Acuerdo de París.

¹⁷ Economía Circular y plásticos: El camino hacia la sostenibilidad.
www.ainia.es





- Se desarrollarán y usarán **materiales innovadores y materias primas alternativas** para la producción de plástico donde la evidencia muestra claramente que son más sostenibles en comparación con las alternativas no renovables.
- La UE tendrá un **liderazgo en equipos y tecnologías de clasificación y reciclaje**. Las exportaciones se elevarán al unísono con la demanda mundial de formas más sostenibles de procesar plásticos al final de su vida útil. Además, en la UE, los ciudadanos, gobiernos y la industria respaldarán patrones de consumo y producción más sostenibles y seguros para los plásticos. Esto proporcionará un terreno fértil para la innovación social y el espíritu empresarial, creando una gran cantidad de oportunidades para todos los europeos.
- Los ciudadanos serán conscientes de la necesidad de evitar el desperdicio y tomarán decisiones en consecuencia. Los consumidores, como actores clave, serán incentivados, conscientes de los beneficios clave y, por lo tanto, habilitados para contribuir activamente a la transición. Se trabajará en un **mejor diseño, nuevos modelos de negocio y productos innovadores que ofrecen patrones de consumo más sostenibles**.
- Muchos empresarios habrán visto la necesidad de una acción más decidida sobre la **prevención de residuos plásticos como una oportunidad comercial**. Cada vez más, surgirán nuevas empresas que brindarán soluciones circulares, como la logística inversa para envases o alternativas a los plásticos desechables, y se beneficiarán del desarrollo de la digitalización.
- La fuga de plásticos al medio ambiente disminuirá drásticamente. Los **sistemas efectivos de recolección de residuos**, combinados con una reducción en la generación de desechos y una mayor conciencia del consumidor, evitan la basura y aseguran que los desechos se manejen de manera adecuada.
- Se desarrollarán **soluciones innovadoras para evitar que los microplásticos lleguen a los mares**. Su origen, rutas de viaje y efectos sobre la salud humana se entenderán mejor y la industria y las autoridades públicas estarán trabajando juntas para evitar que terminen en nuestros océanos y nuestro aire, agua potable o en nuestros platos.
- La UE habrá asumido un papel de liderazgo en una dinámica global, con países que se comprometen y cooperan para detener el flujo de plásticos hacia los océanos y tomar medidas correctivas contra los residuos de plásticos ya acumulados. Las **mejores prácticas se difundirán ampliamente**, el conocimiento aplicado mejorará, los ciudadanos se movilizarán, y los investigadores desarrollarán soluciones que pueden aplicarse en todo el mundo.

- *Oportunidades en el sector del envase y embalaje*

Las nuevas medidas legislativas de la Unión Europea introducidas por la revisión de los envases de desechos, la Estrategia sobre los Plásticos y la Directiva sobre el uso único obligan a la industria a adoptar medidas inmediatas y decisivas en la producción y la gestión de los desechos de los envases de plástico.





Por este motivo es indispensable buscar la manera de aumentar las tasas de recogida del material que actualmente se deposita en vertederos o se incinera. Por lo tanto, es necesario trabajar para lograr un embalaje seguro, ligero y funcional, asegurando al mismo tiempo su reciclabilidad al final de su vida útil.

Dado que en el sector del envase los materiales plásticos más utilizados, y que por lo tanto, generan un mayor cantidad de residuos, son el PET y el envase flexible de PE, se analizará de forma individualizada las perspectivas de futuro de estos dos materiales.

El futuro del envase de PET

Se espera que el consumo de botellas de plástico continúe con un promedio de crecimiento histórico superior al 2 % anual. De hecho, la demanda de láminas de PET ha estado aumentando a un ritmo superior al 5,3 % desde 2014.

Por otro lado, los objetivos fijados en relación al contenido reciclado, si se desarrollan y aplican a los envases de los alimentos, podrían tener un importante impacto en los volúmenes de bandejas de PET en contacto con alimentos, al sustituir los productos de PP por productos de PET. Una de las ventajas de esta sustitución es el hecho de que las bandejas de PET pueden fabricarse con PET reciclado, pero hoy en día no hay procesos aprobados por la Asociación Española de Seguridad Alimentaria (AESA) para el grado alimenticio utilizando PP reciclado.

Otro aspecto positivo es el hecho de que si el mercado de reciclaje de bandejas de PET sigue creciendo, se espera que los países de la UE28 amplíen sus actuales capacidades de recolección y clasificación con el objetivo de aumentar las cantidades de producción. Así, con el desarrollo de nuevas vías de reprocesamiento, se podría esperar que las bandejas de PET lleguen a ser recogidas y recicladas a una tasa similar a la del plástico común, pudiéndose alcanzar una tasa de reciclaje del 50 % para 2025 y el 55 % para el 2030.

En la Figura 51 se muestran las previsiones para la recolección de PET en 2025 y en 2030:

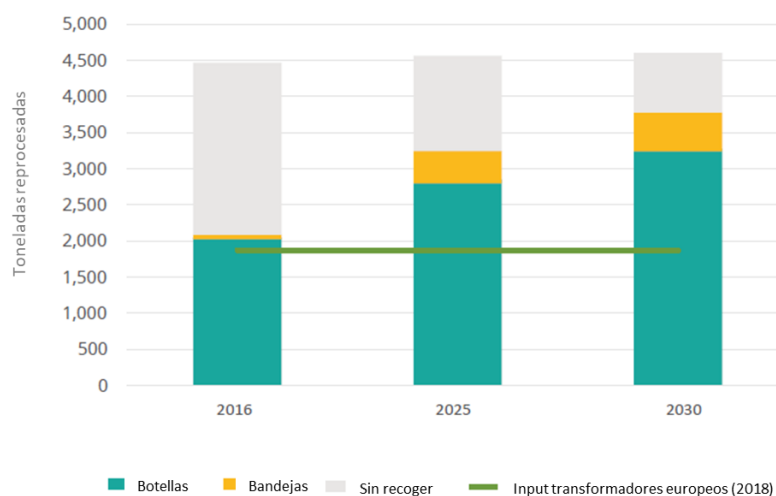


Figura 51. Aumento potencial del PET enviado para su reprocesamiento en 2030

Fuente: PET market in Europe : State of play. Plastics Europe





Un aspecto a destacar es que incluso si no se produjera un crecimiento en el uso de PET, si la recolección de botellas de bebida llegase a un valor objetivo del 90 % en 2030, sería necesario que Europa duplicara la capacidad de reprocesamiento de PET reciclado, teniendo en consideración únicamente las toneladas de PET enviadas a reprocesar.

Por este motivo, sería conveniente trabajar en mejorar aspectos tales como la cantidad y la calidad del PET recogido y clasificado. Concretamente, sería necesario un reprocesamiento por separado de las bandejas de PET, mejoras en el diseño del producto, así como aumentar las botellas de alta calidad. De este modo el rendimiento de los reprocesadores podría aumentar desde un promedio del 73 % de entrada en 2018 al 80 % en 2030, lo que resulta en un total de 3.000 toneladas de salida de rPET en 2030.

El mercado del PET reciclado

La demanda de PET de grado alimentario para la producción de botellas para bebidas en la UE-28 está destinada a seguir creciendo rápidamente en respuesta a las promesas de los productores y a los objetivos marcados en relación con el contenido medio de reciclado a incorporar en ellas.

Si se cumplen los objetivos de recolección establecidos, el tonelaje de rPET disponible debería ser considerablemente mayor que lo que se necesitaría para cumplir con el mínimo del 3 0% de material reciclado en botellas fijado por legislación.

De hecho, el sector de los envases de PET se está moviendo hacia niveles más altos de circularidad, con los transformadores individuales demostrando que es posible producir botellas de agua usando el 100 % rPET de botellas y bandejas con un 95 % de rPET.

Retos del sector del PET

Como se ha comentado previamente, en los últimos años han entrado en vigor una serie de leyes para apoyar el aumento de las tasas de reciclaje por un lado, y de la utilización de materiales reciclados por parte de los transformadores, por otro.

A pesar de ello, la realidad es que sigue habiendo ciertas lagunas en materia de políticas y de I+D. Por ello, para apoyar el desarrollo de los mercados de PET reciclado dentro de Europa, la industria necesita trabajar junto con los responsables de las políticas europeas para garantizar que el aumento de la cantidad de material recogido también puede alimentar la producción de reciclaje de alta calidad en los mercados más maduros.

Para ello, se debe trabajar en los siguientes aspectos:

- Conseguir un enfoque común para evaluar el reciclaje
- Establecimiento de normas de calidad estandarizadas
- Procesos de certificación para materiales reciclados
- Aumento de los recursos destinados a la I+D.





Figura 52. Líneas de actuación para mejorar el reciclaje del PET

Para poder satisfacer las demandas de los consumidores, los requisitos legislativos y avanzar hacia una economía circular del PET, todos los elementos de la cadena de suministro deben estar alineados.

Si además se consigue establecer un marco de evaluación y control de la reciclabilidad, será posible incentivar a los productores para seguir intensificando su compromiso con el diseño de productos que cumplen con los criterios adecuados de reciclabilidad.

El futuro del envase flexible de PE

Teniendo en cuenta la actual tasa de reciclaje de LLDPE/LDPE en Europa, que es de aproximadamente el 31 %, hay un enorme potencial en el reciclaje de este material. Concretamente, con las actuales tasas de producción y consumo en Europa, es posible reciclar de 5 a 6 veces más cantidades de la fracción post-consumo en comparación con lo que se recicla hoy en día. Lo mismo se aplica a la corriente de desechos comerciales cuyas tasas podrían incrementarse en alrededor de un 30 %. Este aumento está condicionado, sin embargo, por el incremento de la recogida y la clasificación, así como por la mayor calidad del material de entrada.

De igual manera que en el caso del PET, resulta indispensable para aumentar las tasas de reciclaje trabajar en el ecodiseño del producto, considerando todo el ciclo de vida del producto.

Es necesario que la industria normalice a fabricación de un nuevo embalaje flexible partiendo de un diseño con consideraciones de reciclaje. Es decir, cualquier innovación en los films de PE, antes de ser puesta en el mercado, debe ser previamente probada para asegurar que pueda ser recogida y clasificada eficientemente y reciclada de nuevo en un material de alta calidad. El diseño para el reciclaje debe garantizar la reciclabilidad de los envases flexibles, permitiendo al mismo tiempo la innovación para este producto. Sólo siguiendo y cumpliendo estos sencillos pasos podemos salvaguardar e impulsar aún más el reciclaje de la película de PE en Europa.

Esto, a su vez, aumentará la credibilidad de toda la cadena de valor.





Figura 53. Esquema de Reciclaje de PE flexible

Además, es preciso realizar nuevas inversiones en la recogida, la clasificación y las tecnologías de reciclado avanzadas, así como en el avance de la infraestructura actual mediante, entre otras cosas, el aumento de la capacidad de reciclado. Igualmente, es necesario establecer y mantener las corrientes refinadas, en las que las poliolefinas mixtas están disminuyendo progresivamente, de acuerdo con las normas de la Unión Europea. Igualmente, las corrientes de desechos tradicionales necesitan ser mejoradas para asegurar la circularidad de los desechos de envases.

La industria debe reevaluar el diseño de los envases creando innovaciones de diseño que por un lado proporcionen un producto plástico con las propiedades requeridas en una variedad de aplicaciones, pero por otro lado proporcionen propiedades de reciclaje superiores. El apoyo al diseño para el reciclaje y la fabricación de artículos de plástico reciclables se está convirtiendo en una necesidad si queremos satisfacer la creciente demanda del mercado de plásticos reciclados.

La verdadera transformación para toda la cadena de valor puede lograrse trabajando en colaboración con los propietarios de marcas, los minoristas, los productores de films y los convertidores de envases para encontrar las soluciones a los principales cuellos de botella.

Además, los encargados de adoptar decisiones son cruciales para crear un marco legislativo que fomente las condiciones para el reciclado sostenible y plenamente circular de los plásticos en Europa. Esta labor debe orientarse a avanzar en la recogida y el reciclado de los envases flexibles para mejorar aún más las credenciales ambientales y la sostenibilidad mundial de este tipo de envases.





cecale

NOS
IMPULSA



Junta de
Castilla y León

