

**ECONOMÍA
CIRCULAR:
CERRANDO
LOS
CICLOS**





Asociación Internacional de Residuos Sólidos

La Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA) es una asociación mundial, independiente y sin fines de lucro, que trabaja en el interés público para promover y desarrollar la gestión sostenible de los residuos.

La ISWA tiene miembros en más de 60 países y es la única asociación mundial que promueve la gestión sostenible, integral y profesional de residuos.

El objetivo de la ISWA es el intercambio mundial de información y experiencia en todos los aspectos de la gestión de residuos. La asociación promueve la adopción de sistemas aceptables de gestión profesional de los desechos mediante el desarrollo tecnológico y la mejora de las prácticas de protección de la vida humana, la salud y el medio ambiente, así como la conservación de los materiales y los recursos energéticos

La visión de ISWA es una Tierra donde no existan residuos. Los desechos deben ser reutilizados y reducidos al mínimo, luego recogidos, reciclados y tratados adecuadamente. La materia residual debe ser eliminada de forma segura, asegurando un ambiente limpio y saludable. Todas las personas en la Tierra deberían tener el derecho de disfrutar de un ambiente con aire, tierra, mares y suelos limpios. Para poder lograr esto, necesitamos trabajar juntos.

Resumen ejecutivo

Resumen ejecutivo.

Damos por sentado el reciclaje. Después de todo, todos 'saben' sobre aquello, y es que probablemente, dada la oportunidad, 'reciclan': es decir, invierten el tiempo y esfuerzo para ordenar y limpiar el material, colocándolo en el contenedor de reciclaje adecuado. Sin embargo, quien trabaja en el sector de la gestión de residuos y en el sector de gestión de recursos sabe bien que esto es solo el comienzo de un largo viaje para el material reciclable: una serie de acciones son necesarias para convertir este artículo clasificado a lo que se llama materia prima 'secundaria', adecuado para reemplazar material virgen en un proceso de fabricación de productos. Uno podría argumentar que tal reemplazo es el momento final de una economía 'circular': el cierre del ciclo, el rejuvenecimiento de un material de ingeniería técnica usado, como un polímero o papel, en el mismo estado de materia. Mientras que en una economía circular hay más que solo el ciclo técnico del reciclaje, sigue ocupando la esencia de la misma: el mínimo indispensable para que sea 'circular', alrededor del cual deben organizarse otras acciones periféricas.

Aquí, revisamos la evidencia sobre la viabilidad del reciclaje, con una mirada a cuáles son los embotellamientos de un mayor y mejor reciclaje, y con referencia a aspectos clave de sostenibilidad de la gestión de recursos: aspectos técnicos, mercados y rendimiento ambiental. Nos enfocamos en dos materiales de ingeniería clave: un representante de las familias de plástico (polipropileno - PP) de origen fósil no renovable, y una categoría de materias biogénicas renovables: papel y cartón.

Hay similitudes subyacentes fundamentales (por ejemplo, ambos son usados mayormente en el envasado de aplicaciones de corta duración; y la chatarra es globalmente comerciada) junto con sorprendentes contrastes (por ejemplo, nivel de recogida para reciclaje) en ambos casos considerados: con tasas de recogida para reciclaje superiores al 70% en Europa y alrededor de 50% de papel/cartón fabricado con material recuperado, el reciclaje de papel/cartón es una destacada historia de éxito. Sin embargo, estas cifras no consideran cantidad y cualidad de fibra: la propia columna del material papel/cartón, y solo una fracción de su masa. En contraste, PP a pesar de representar alrededor de una cuarta parte de la producción mundial de plásticos, paradójicamente o no, actualmente disfruta un bajo nivel de reciclaje. No se dispone de estimaciones de qué tan bajo es exactamente este nivel, y esto demuestra nuevamente la falta de información confiable y ampliamente disponible, que impide la recuperación de recursos a partir de residuos. UNComtrade recopila datos de comercio internacional para otros polímeros reciclados importantes (p.ej. PET, PEAD), pero no para PP.

Las razones detrás de este retraso en el reciclaje de PP -y el conocimiento al respecto- pueden ser buscadas: extrema variabilidad en las calidades de los materiales, incluyendo materiales complejos/compuestos, tipos de artículos y sectores - todos estos reflejando la innovación para la funcionalidad y la notable adaptabilidad del polímero básico; recolección de infraestructura inadecuada y uso de sistemas combinados, que impide la separabilidad de materia prima recogida, como en el caso de los envases rígidos PP; falta de tecnologías

adecuadas para eficazmente separar la calidad necesaria de PP reciclado: p.ej. separación de PE de densidad similar, fracción de calidad alimentaria, identificación de fracción de color negro mediante sistemas NIR; costo de inversión de capital para clasificación avanzada basada en sensores; ausencia de estándares de calidad globalmente aceptados / bien establecidos; insuficiente capacidad de reprocesamiento en Europa; capacidades técnicas poco claras y el destino en los principales destinos de importación, como China; competencia de la recolección nacional en los destinos tradicionales de exportación; baja calidad de los estándares de exportación (comercializados generalmente como parte de plásticos mixtos); tecnologías avanzadas de recuperación financieramente insostenibles (reciclado de materias primas mediante la descomposición del procesamiento térmico); mercados no transparentes, incluidos los precios; una serie de desafíos importantes relacionados con el comercio en una cadena de valor de material secundario globalizada, incluyendo asimetría de información; terminación directa con materiales vírgenes sobre el precio, y dependencia sobre precios de petróleo. Abordar estos problemas podría permitir un nivel sustancialmente mayor de reciclaje significativo para PP

Una contribución de vital importancia de las industrias de reprocesamiento y gestión de residuos radica en mantener limpio el medio ambiente y cerrar el ciclo. En muchos casos, problemas heredados deben abordarse durante el proceso de reciclaje, como en presencia de ciertos aditivos ignífugos bromados en plásticos que resultaron cancerígenos, o compuestos asociados con tintas en papel, como bisfenol A (BFA): es muy importante descontaminar los flujos de



material y cerrar el ciclo evitando la dispersión de sustancias contaminantes. Esta función de descontaminación da como resultado algunas pérdidas inevitables y establece otro límite a lo que se puede reciclar de forma sostenible. A pesar de esto, hay una comprensión insuficiente del desempeño ambiental y de sostenibilidad más amplia del cierre del ciclo. Considerando que algunos estudios de investigación de evaluación del ciclo de vida indican límites para el reciclaje ambientalmente significativo, que requieren, por ejemplo, un alto nivel de sustitución de material virgen, no existen estudios para PP, que cubran todo el ciclo de reprocesamiento, las múltiples fuentes y aditivos, y su exportación desde países de la OCDE y cierre final del ciclo en condiciones de protección ambiental y fabricación que pueden ser subóptimas. Se requiere una evaluación de la sostenibilidad mucho más completa, que incluya múltiples aspectos de la recuperación de recursos, para fundamentar los beneficios percibidos y abordar las cuestiones planteadas actualmente.

Se necesita innovación para un reciclaje sostenible de alta calidad a un nivel adecuado de cascada. De hecho, un hallazgo importante es que el modelo de ciclo cerrado (perpetuo), (reciclar en el mismo uso y para múltiples ciclos) puede no ser factible en muchas ocasiones, debido al deterioro pequeño pero suficiente de las propiedades fundamentales del material durante su uso, recolección para reciclaje y reprocesamiento: p.ej. la longitud de las fibras se acorta para el papel/cartón en cada ciclo de reprocesamiento. Como resultado, la materia prima virgen todavía necesita agregarse en algún porcentaje mientras se recupera el papel/cartón usado; y un modelo 'cascada',

por su uso en aplicaciones que exigen menos calidad, es una perspectiva mucho más realista, antes de una eventual recuperación de energía de los residuos. El papel de periódico es un ejemplo intermedio: Considerando que se puede hacer papel de periódico a partir de papel 100% recuperado, posiblemente una gran cantidad de papel usado de una calidad mucho más alta terminará recuperado para la calidad del papel de periódico mientras se cierra el ciclo. En la actualidad, los envases de PP en contacto con alimentos no pueden reciclarse para el mismo uso porque las normas legislativas exigen una pureza de material muy alta y no existe una forma automatizada de identificarlo - la separación manual también sigue siendo necesaria como una etapa final de mejora de la calidad en la clasificación de tipos de papel usados.

Otro límite al modelo de circuito cerrado proviene de las pérdidas que inevitablemente ocurren durante las múltiples etapas del cierre del ciclo: comenzando con la capacidad de recolectar cantidades suficientes, y continuar con el rechazo de material inadecuado (dañado, contaminado) y las eficiencias de separación limitadas del equipo de clasificación. No hay evidencia concreta sobre el nivel de tales pérdidas. De manera similar, no existe un conocimiento suficiente sobre los recursos adicionales (material virgen, energía, agua, aditivos químicos) que se requieren para cerrar el ciclo por unidad de masa de PP secundario y papel/cartón.

El cierre sostenible de los bucles de material de ingeniería sigue siendo un desafío técnico. El potencial de reciclaje y su sostenibilidad

dependen principalmente de: las propiedades del material; las tecnologías de ingeniería de procesamiento disponibles para realizar el cierre del ciclo; y la necesidad social y los requisitos de calidad técnica para el uso previsto de la materia prima secundaria. Se necesita una innovación tecnológica continua en las propiedades, el procesamiento y la estandarización de los materiales para permitir la demanda de materiales reciclados de alta calidad. Para ello, la reciclabilidad debe estar alineada en la medida de lo posible con la innovación en nuevos materiales/aditivos: por el contrario, algunas de las barreras que han surgido recientemente para el reciclaje de papel/cartón se deben a las innovaciones en la impresión flexográfica de periódicos y/o la impresión digital, que requieren enfoques novedosos en el reprocesamiento.

En última instancia, el cierre del círculo depende de las condiciones del mercado, lo que genera importantes desafíos para la sostenibilidad de la economía circular. Los materiales reciclados compiten directamente con las materias primas primarias equivalentes (es decir, vírgenes) -un aspecto poco explorado, donde se requiere un campo plano- y cuando se exportan desde la OCDE, se comercializan en cadenas de valor globalizadas. Comprender y abordar estos desafíos del mercado, y respaldar soluciones con innovación tecnológica consciente del medio ambiente, podría marcar la diferencia en la gestión sostenible de los recursos y, por lo tanto, debería priorizarse.

Preparado por el grupo de trabajo de ISWA sobre gestión de recursos.

Autor principal:

Dr. Costas Velis

Profesor de Sistemas de Eficiencia de Recursos

Universidad de Leeds

Reino Unido



Dr. Costas Velis, MSc, DIC, PhD, MCIWM, MInstP, es un experto de renombre internacional en la gestión de residuos y recursos, con una visión de una economía circular sostenible de flujos de materiales limpios. Con experiencia líder en sistemas globales de residuos, ha servido en estimados comités internacionales que abordan desafíos relevantes de escala mundial, incluida la Perspectiva mundial de gestión de desechos del PNUMA, y el Grupo de Trabajo de Globalización y Gestión de Residuos de ISWA. Preside el Comité Científico del Atlas de Residuos.

Académico, como profesor de sistemas de eficiencia de recursos en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Leeds, Reino Unido, lidera un equipo de investigación y dirige un laboratorio de caracterización de residuos. Costas tiene más de 10 años de experiencia laboral e investigadora en innovación para la gestión de recursos (Gerente de Residuos Colegiado por CIWM) y ofrece a su profesión como Editor Asociado de las revistas académicas Gestión e Investigación de Residuos, y Revisiones Críticas en Ciencia y Tecnología Ambientales, y como Vicepresidente del Grupo Europeo ISWA.

Costas es honrado con muchos premios internacionales por sus trabajos de investigación, incluido el prestigioso Premio Terford Premium de la Institución de Ingenieros Civiles en 2014.

Co-autores:

Dr Maria Coronado

Mr David Lerpiniere

de la Universidad de Leeds

Tabla de contenido

08	Introducción
08	Antecedentes y alcance
08	Estructura del informe
10	Polipropileno
10	Propiedades y usos
11	Generación de residuos de polipropileno, reciclaje y salidas
13	Cerrando el bucle de material PP: tecnologías y procesamiento
14	Examen del mercado internacional
18	Barreras y oportunidades para el reciclaje sostenible del PP
26	Papel y cartón
26	Propiedades y usos
27	Generación de residuos de papel y cartón, reciclaje y salidas
30	Cerrando el bucle de material de fibra: tecnologías y procesamiento
32	Examen del mercado internacional
36	Barreras y oportunidades para el reciclaje sostenible de papel y cartón
41	Referencias

Introducción

Antecedentes y alcance

Este estudio se realizó en nombre del Grupo de trabajo sobre Gestión de Recursos de la Asociación Internacional de Residuos Sólidos. Comprende una revisión del valor y el potencial para mejorar el nivel de recuperación de dos materiales clave: polipropileno y papel y cartón. El objetivo general del estudio es apoyar el trabajo de ISWA en la evaluación del papel potencial que puede desempeñar el sector de la gestión de residuos para lograr una mayor eficiencia de los recursos y avanzar hacia una economía circular.

El estudio se basa completamente en la revisión de datos secundarios y ha involucrado una revisión extensa de la literatura y las fuentes de datos disponibles públicamente. Tenga en cuenta que no se han recopilado datos primarios durante la fuente de este trabajo.

Existen similitudes subyacentes fundamentales (por ejemplo, ambos se utilizan más en el empaquetado de aplicaciones de corta duración; y la chatarra se comercializa a nivel mundial) junto con llamativos contrastes (por ejemplo, nivel de recogida para reciclaje) en los dos casos considerados.

Estructura del reportaje

Este reportaje consta de dos secciones principales: la Sección 1 se centra en el polipropileno y la Sección 2 se centra en el papel y cartón. Cada una de estas secciones considera los siguientes temas principales para estos dos flujos de materiales:

- 1. Propiedades y usos:** descripción general de las principales características y aplicaciones del material.
- 2. Generación y reciclaje de residuos:** descripción general de las cantidades estimadas de materiales secundarios generados, procesados y consumidos.
- 3. Procesos y tecnologías de reciclaje:** una revisión de los procesos y tecnologías de reciclaje que incluye una discusión de los temas clave en términos de temas técnicos, financieros y ambientales.
- 4. Revisión del mercado internacional:** una revisión de los mercados del material, los valores de mercado y las tendencias del mercado.
- 5. Barreras y oportunidades:** una discusión de los hallazgos clave de la revisión, incluida una consideración de las barreras clave asociadas con la maximización del reciclaje del material.

La sección final del informe presenta una lista de referencias detallada.



Polipropileno

Propiedades y usos

El polipropileno (PP) es un termoplástico cristalino sintetizado por polimerización de propileno y uno de los principales miembros de la familia de las poliolefinas. El PP se utiliza en varios grados y se combina con otros materiales en laminados o estructuras de películas metalizadas. Está disponible en homopolímero para uso general y también se copolimeriza comúnmente con otros polímeros, como el etileno, donde se requieren cualidades de impacto más altas. Las propiedades físicas/químicas clave del PP incluyen:

- Termoplástico semicristalino, de alta rigidez, buena resistencia a la tracción y resistencia a la fatiga.
- Material ligero y rígido, fácil de mecanizar, cortar y limpiar.
- Excelentes propiedades dieléctricas y de aislamiento térmico y buena resistencia al calor.
- Resistente a ácidos, bases y disolventes.
- Baja absorción de humedad.
- Resistente a bacterias y hongos, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones en contacto con alimentos; y se puede esterilizar con vapor para aplicaciones médicas.
- No es resistente a la oxidación - está estabilizado con antioxidantes.
- Alto contenido energético.

Debido a sus propiedades, el PP (solo o combinado con una variedad de aditivos) se utiliza para una amplia gama de aplicaciones con diversa durabilidad y vida útil, como los envases (domésticos e industriales / comerciales: p.ej. bandejas, cuencos, películas de PP orientadas como para patatas fritas, tapas / cierres de botellas), edificación y construcción, piezas de automoción y equipos eléctricos y electrónicos (AEE).

El embalaje es el principal uso final del PP (39,4% de todos los PP utilizados en la UE), incluidos los embalajes flexibles (películas) y los productos de plástico rígido. Alrededor

del 70% de los envases de PP se utilizan en forma de recipientes, tubos y bandejas (PTT) para aplicaciones de calidad alimentaria.¹⁰ El PP representa una gran cantidad (~ 70%) de artículos de cierre, que generalmente son de colores y muchos tienen etiquetas autoadhesivas.¹⁰

Con respecto a los artículos de menor duración, en la industria de la edificación y la construcción, el PP se utiliza normalmente para fabricar productos con una vida útil más larga (alrededor de 35 años)⁶, como tuberías y conductos.² El PP también se utiliza en la fabricación de una amplia gama de AEE. Sus usos incluyen componentes de grandes electrodomésticos (por ejemplo, lavadoras y lavavajillas) y pequeños electrodomésticos

(por ejemplo, hervidores de agua, planchas, cafeteras, juguetes, computadoras e impresoras). El PP es uno de los plásticos más utilizados en el sector de la automoción y sus aplicaciones incluyen parachoques, carcasas de batería, etc. La vida útil promedio de un automóvil es de entre 12 y 15 años¹¹ y, por lo tanto, los vehículos al final de su vida útil (VLE) en la cadena de reciclaje actual podrían haberse fabricado a principios de la década de 2000. La composición del vehículo en ese momento contenía alrededor del 9-10% de PP. Durante la última década, el diseño de vehículos hizo un mayor uso de componentes poliméricos, debido a sus ventajas asociadas con su menor densidad (eficiencia de recursos a través del aligeramiento).



Tab. 1 | **Generación y recuperación de desechos de PP rígido por sectores en Europa**

EU 27+2 (2009)	SURGIMIENTO		RECUPERACIÓN (RECOGIDA PARA EL RECICLAJE Y LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA) (kt)			(RECOGIDA PARA) LA TASA DE RECICLAJE
	kt	%	TOTAL	RECICLAJE MECÁNICO	RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	%
Embalaje	1717	71.6 %	972	234	734	13.6
Botellas	187	7.8 %	133	67	65	36.0
No botellas	1530	63.8 %	839	165	672	10.9
Automóvil	410	17.1 %	133	94	40	22.8
WEEE	140	5.8 %	52	9	43	6.5
Total	2267	94 %	1157 (51 %)	337 (15 %)	820 (36 %)	14.9

Fuente: PlásticosEuropa (2011)⁵

Generación de residuos de polipropileno, reciclaje y salidas

PlasticsEurope indica que se generaron 2,27 millones de toneladas (Mt) de residuos rígidos de PP en la UE en 2009 (Tabla 1). Hasta donde sabemos, no hay datos disponibles a nivel mundial. Debido a su amplia gama de aplicaciones, los residuos que contienen PP ("residuos de PP") se originan en muchas fuentes. Las principales fuentes de residuos de PP corresponden a las aplicaciones más habituales y su tasa relativa de vida útil del producto: envases (44%), edificación y construcción (19%), VLE (6%) y RAEE (5%). El 22% restante se genera a partir de otras fuentes: agricultura, atención médica / hospitalaria, ropa protectora, superficies deportivas, artículos domésticos.

La corta vida útil⁶ de los productos de embalaje, que en su mayoría son artículos desechables de un solo uso, da como resultado la generación de cantidades considerables de residuos de embalaje de PP por año. Según un estudio realizado en Suiza en 2011, el 10,4% de la fracción de plásticos

reciclables de los residuos de AEE (RAEE o residuo electrónico) es PP. Los residuos de PP de pequeños artículos domésticos se mezclan generalmente con otros residuos municipales, mientras que el PP presente en aparatos eléctricos más grandes, como lavadoras y lavavajillas, a menudo se puede recoger por separado. El PP y otros plásticos de aplicaciones agrícolas ahora también se han comenzado a recolectar para su reciclaje en algunos países.

Hay datos limitados sobre la recolección para el reciclaje, la sustitución final de materias primas y la recuperación de energía en diversas formas (EfW, RDF, SRF, reciclaje de materias primas) de PP en Europa. La tasa de recuperación total (recolectada para reciclaje y usos energéticos) fue del 51%, dividida en recuperación de energía (predominando en el 36% de las unidades) y recolección para reciclaje en el 15%. Esto es considerablemente más bajo que el 26% o el total de plásticos de desecho postconsumo recolectados para reciclaje en la UE-27 en 2012, lo que significa que el PP de desecho se recolecta por separado de manera considerablemente menos efectiva que el polímero de desecho promedio que no es de PP. Si bien la mayoría de los plásticos de desecho recolectados para el reciclaje se destinan al reciclaje mecánico, en lugar de la descomposición térmica o el reciclaje químico, no está claro cuánto del 15% recolectado para reciclaje se entrega a las instalaciones de recuperación de materiales

(MRF) y las instalaciones especializadas de recuperación de plásticos. (PRF) dentro de Europa frente a la cantidad exportada. Un estudio de ISWA el año pasado nos recordó que con respecto a todos los plásticos de desecho postconsumo en la UE-27, de la cantidad total recolectada para reciclaje casi la mitad se exporta (46% de lo recolectado) y la mayoría (87% de las exportaciones) a China y la región administrativa especial (RAE) de Hong Kong, donde su destino exacto no está documentado. Según los datos del Reino Unido, se estimó que el PP comprende el 2% de la chatarra de plástico exportada: si bien esta es una estimación aproximada y puede no ser aplicable genéricamente a todos los países exportadores, sí indica la escala probable de exportación de PP para reciclaje, especialmente en relación con otros polímeros.¹³

Una subcategoría de residuos de PP es la forma de PP rígido. Alrededor del 90% de los residuos de PP rígidos generados proviene de aplicaciones que no son botellas, como los PTT. Los envases de plástico rígido de los sistemas de recolección en la acera (recolección de múltiples corrientes) generalmente se envían a los PRF, mientras que los plásticos recolectados mezclados (ya sea de uno o dos flujos) se envían a los MRF para su posterior separación. Las tasas de recogida para reciclaje y recuperación de energía de los residuos rígidos de PP en la UE son: 57% para los residuos de envases, 32% 11

para la industria automotriz y 37% para los RAEE. Una gran cantidad (70%) del PP rígido total recuperado del sector de la automoción en la UE se recicla mecánicamente, mientras que el 83% y el 76% del total de PP rígidos recuperados de RAEE y embalajes, respectivamente, se destinan a valorización energética. Alemania tuvo en 2011 la tasa más alta de recolección para reciclaje de PP rígido (~ 33%), que fue alrededor de 3 veces más que la tasa alcanzada en otros países de la UE, que estaban por debajo del 13%.⁵ Alemania ha estado recolectando plásticos de embalaje en el "contenedor amarillo" junto con el resto del embalaje durante muchos años y ahora se está moviendo a un nuevo sistema ("el contenedor amarillo plus"), que aspira a incrementar la tasa de recolección recolectando todos los plásticos. Además de los artículos de embalaje, este contenedor de reciclaje también puede aceptar artículos de uso diario que no sean de embalaje hechos de plástico y metales, como juguetes, sartenes y cubos de plástico. Las cajas de baterías y los parachoques de la industria del automóvil también juegan un papel importante en la cadena de reciclaje de PP rígido en Alemania.⁵

Existen algunos mercados establecidos y en evolución para el PP reciclado (PPr), que incluyen aplicaciones de automoción, construcción y productos de construcción, envases de alimentos y otros artículos domésticos (contenedores, cubos, cajas, jaulas y cunas). A pesar de la existencia de estos mercados, las tasas generales de residuos de PP recogidos para su reciclaje son muy bajas en comparación con otros polímeros importantes como el PET y el HDPE, porque el PP se utiliza en varios grados y se combina con otros materiales en estructuras de película laminada o metalizada que hacen su identificación. y separación difícil. Las diferentes fuentes, tipos, grados, calidades y formas de los productos de PP hacen que el reciclaje mecánico sea a menudo una tarea compleja.

Las aplicaciones para vehículos se han convertido en un mercado de alto nivel para PPr. PP permite una recuperación y reutilización de componentes potencialmente más fácil cuando termina la vida útil de un vehículo. Actualmente se comercializan componentes para el interior de automóviles con hasta un 60% de PPr, procedentes de la industria automotriz -un caso de cierre del ciclo. La industria de la construcción también representa una importante oportunidad de mercado potencial para grandes cantidades de PPr.¹⁴ Las tuberías, el revestimiento de cables y alambres y los compuestos de madera y plástico (WPC) son usos para la poliolefina reciclada en general. El PPr se ha utilizado con éxito para fabricar WPC y cajas de plástico¹³

Un nuevo mercado potencial para los residuos de envases son las aplicaciones de PP en contacto con alimentos, pero todavía existen importantes barreras (tecnológicas). Algunos envases de alimentos tienen varias capas de resinas o aditivos que pueden hacer que el reciclaje sea un desafío técnico. Una barrera clave para desarrollar con éxito este uso final para PPr es que la calidad de los plásticos en contacto con alimentos está sujeta a estrictos requisitos regulatorios para garantizar que las sustancias potencialmente nocivas que podrían entrar en contacto con los alimentos no se utilicen durante la fabricación del embalaje. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) estableció que el PPr debe hacerse comenzando con un 99% de material de PP en contacto con los alimentos (tenga en cuenta que el umbral equivalente para el PET, para el cual es factible el reciclaje de circuito cerrado, es mucho menos desafiante del 95%).²

Para materializar este mercado potencial teórico, se requerirían esfuerzos de inversión y de investigación y desarrollo (I + D) en toda la cadena de reciclaje y reprocesamiento: etapas de recolección, clasificación y descontaminación capaces de producir PPr en contacto con alimentos para reemplazar el PP virgen en contacto con alimentos. A pesar de esto, recientemente se lograron importantes avances tecnológicos para convertir plásticos usados en polímeros de grado alimenticio mediante la eliminación de la contaminación, lo que permitió utilizar una variedad de polímeros para aplicaciones en contacto con alimentos. Por ejemplo, el uso de rPET en envases de refrescos, el uso de rHDPE en botellas de leche y, más recientemente, el uso de PPr en ollas y bandejas para alimentos. Se desarrollaron nuevas tecnologías certificadas por la EFSA para uso de PP en grado de contacto con alimentos (por ejemplo, Shroeller Arca, Petra Polymery). Una limitación que queda en la actualidad es probar si los pigmentos de productos impresos directamente y etiquetados en molde pueden crear problemas para el PPr de calidad alimentaria. Además del flujo de residuos de envases domésticos de PP, algunos envases que entran en contacto con alimentos podrían recuperarse potencialmente de la cadena de suministro de catering mediante la captura de tinas y cubos de PP moldeados por inyección para grasas, encurtidos y salsas y frascos moldeados por soplado para aplicaciones similares.¹⁰ Por lo tanto, lograr estándares de calidad y aplicar tecnologías efectivas para esto, podría permitir el desarrollo de nuevas salidas para el PPr.



Cerrando el ciclo del material PP: tecnologías y procesamiento

Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico (sin transformación química) es una tecnología bien establecida y ampliamente aplicada para producir PPr. Por lo general, y simplificando, los residuos de PP se separan en la fuente y se recolectan junto con otros plásticos o junto con otros materiales reciclables secos (recolección de flujo único o mezclada). El material recolectado se procesa en PRF y MRF donde el PP se separa de otros polímeros mediante el uso de una variedad de tecnologías de separación. Finalmente, el material se transporta a reprocesadores, donde el PP residual se vuelve a fundir y se extruye para formar escamas o gránulos ² de PPr.

Reciclaje de materias primas. El reciclaje de la materia prima mediante pirólisis o gasificación (procesamiento térmico) puede ser más adecuado que el reciclaje mecánico para mezclas de desechos contaminadas y muy heterogéneas (por ejemplo, residuos de trituradoras de automóviles y electrónicos) que contienen PP mezclado con otros polímeros. Si se aplica apropiadamente, puede proporcionar un uso valioso y eficiente del valor de la energía y los materiales incorporados en los plásticos de desecho. Sin embargo, estas soluciones aún no se han aplicado comercialmente: un factor limitante es que se necesitan grandes economías de escala para invertir en tales tipos de procesamiento. También se refiere a la cantidad de residuos plásticos recogidos para su reciclaje, que aún son insuficientes. Se necesitarían niveles mucho mayores de recolección de polímeros plásticos para proporcionar la materia prima segura a la escala apropiada para que el reciclaje de la materia prima sea viable. La materia prima, denominada "reciclaje" de PP no reciclables y otros polímeros también puede realizarse mediante su uso como materia prima en altos hornos. El PP no se puede degradar por la simple adición de productos químicos (a través de alcoholisis, hidrólisis, glucólisis y metanolisis) a sus monómeros iniciales debido a la escisión aleatoria de los enlace C-C¹⁵, por lo que el reciclaje químico no es una opción.

Existen muchas rutas competitivas para la recuperación de recursos para PP como combustible, a través de la energía de combustión directa de los desechos (Efw) como parte de los desechos residuales mezclados, o mediante la clasificación simple para la preparación de un combustible derivado de desechos (RDF) enviado también a Plantas Efw; o a través del combustible sólido recuperado (SRF)¹⁶ mucho más

sofisticado y de calidad garantizada, adecuado para la recuperación en hornos de cemento, plantas de energía y otras industrias de alta demanda de energía, que habitualmente reemplaza al carbón. También surgen soluciones de procesamiento para combustibles líquidos.¹⁷

Desafíos técnicos

Por lo tanto, el reciclaje mecánico es la ruta más viable y establecida para cerrar el ciclo de materiales del PP hoy en día. Sin embargo, existen importantes desafíos técnicos que impiden el cierre efectivo del ciclo de PP. Una desventaja clave del reciclaje mecánico de polímeros es que solo se puede realizar en un polímero puro. Se necesitan tecnologías de separación para clasificar mezclas complejas de desechos plásticos en salidas de polímero único y, al mismo tiempo, eliminar contaminantes (adhesivos) y elementos no deseados (contrarios). La mayoría de las tecnologías de separación para tipos de polímeros se basan en la separación por densidad (clasificación de aire, ciclones, hidrociclones, centrifugadoras, flotador-sumidero) y / o propiedades espectrofotométricas (infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo medio (MIR), Raman espectroscopia, espectroscopia de fluorescencia de rayos X, detección de rayos X, clasificación por láser). Los principales polímeros actualmente separados para su procesamiento en MRF son PET y HDPE.

Debido a que la tecnología para separar PP y PE ya existe en el mercado, en los últimos años un número creciente de MRF ha comenzado a separar una gama más amplia de polímeros de los residuos de envases, incluido el PP recibido en forma de PTT. Las tecnologías de clasificación basadas en la densidad pueden separar los polímeros de poliolefina (PP, PE) de otras resinas más densas (PS, PVC, PET, PS). Sin embargo, no son capaces de clasificar polímeros con densidad similar (PP, PE) ni polímeros que contienen aditivos físicos (es decir, PP con fibras utilizadas en las industrias de la construcción y la automoción) que puedan cambiar la densidad de la resina individual. Este problema se resuelve mediante el uso de separación basada en sensores (NIR) capaz de distinguir entre la mayoría de los tipos de polímeros, incluidos PP y PE. A pesar del costo de inversión de capital, en Europa, el uso de equipos de clasificación NIR para separar polímeros plásticos en MFR ya está muy extendido. Sin embargo, la inversión requerida para comprar unidades de clasificación NIR para diferentes polímeros es alta y la mayoría de las pequeñas instalaciones de recuperación de materiales

no pueden permitírsele. La separación se complica aún más por el mayor uso de envases de múltiples capas.

Si bien estas tecnologías pueden clasificar con éxito los principales grupos de polímeros¹⁸, no son capaces de identificar polímeros de negro de humo, lo que da como resultado una pérdida de recuperación significativa para los materiales de PP.¹⁹ Una posible solución para clasificar PP negro, actualmente probada a escala piloto, es el uso de un reactor de oscilación desconcertante que utilice agua para la separación. Este método, derivado de la mezcla de líquidos farmacéuticos, puede dividir la fracción más ligera en dos tipos de plástico, PP y PE, mientras que la fracción más pesada se hunde, dando un tercer material de salida. Otra solución explorada es el uso de colorantes alternativos para aumentar la eficiencia de las tecnologías de separación NIR. Dichos colorantes deberían ser lo suficientemente estables para un reprocesamiento repetido mediante procesos convencionales. Sin embargo, muchos de estos colorantes alternativos no coinciden actualmente con el negro de carbón en cuanto a intensidad de tinte o precio.¹⁸

Otra desventaja de la tecnología actualmente disponible comercialmente es su incapacidad para distinguir entre PP no alimentario y PP en contacto con alimentos. Teniendo en cuenta que alrededor del 60-70% del PP utilizado en aplicaciones de envasado está en contacto con alimentos, esto dificulta cerrar el ciclo de material para PP de calidad alimentaria en aplicaciones de la misma especificación. Esto sirve como una barrera para proporcionar el material necesario para desarrollar nuevos mercados para envases reciclados en contacto con alimentos. Una solución alternativa a NIR puede ser el uso de tecnología MIR, que es capaz de detectar plásticos de negro de humo; sin embargo, esta tecnología aún se encuentra en desarrollo comercial debido a limitaciones técnicas y de procesamiento. Además, la tecnología NIR tiene dificultades para distinguir entre diferentes grados del mismo polímero.

Revisión del mercado internacional

Producción y consumo de PP.

El mercado global de PP es el segundo negocio de polímeros de mayor volumen en el mundo en la actualidad, y representa el 25% de la demanda total de polímeros²², según IHS. Suponiendo una producción mundial de plásticos en la región de 299 Mt en 2013, esto equivaldría a alrededor de 75 Mt de PP producidos a nivel mundial por año. La producción de PP se ha desplazado gradualmente de áreas donde históricamente la demanda era alta (por ejemplo, Europa) a áreas donde los costos de la materia prima son bajos (por ejemplo, Oriente Medio y Asia).²³ El cambio es evidente también en el consumo: China representó el 28% del consumo mundial de PP en 2013.²⁴ En cuanto a los sectores, las 'otras' aplicaciones representaron el 41% del uso final en 2013, seguidas de los envases (32%), AEE (14%) y equipos e instalaciones (13%), según datos de AMI, según EcoSphere.¹⁷

La cantidad de comercio transnacional de PP virgen es considerablemente menor: en 2013, se comercializaron poco más de 17 Mt de PP virgen (Figura 1). La demanda de este polímero ha aumentado constantemente

durante la última década, pasando de poco menos de 12 Mt en 2003, un aumento de más del 40%. Este aumento en la demanda comercial transnacional también se refleja en el valor creciente de PP desde 2000 (también ilustrado en la Figura 1). Se espera que estas tendencias continúen.

Los principales exportadores de PP se ilustran en la Figura 2: con 4,1 Mt, Arabia Saudita es el mayor exportador de PP, casi cuatro veces más grande que el siguiente mayor exportador, Alemania (1,2 Mt). La producción de PP en Arabia Saudita experimentó un gran salto en 2007, pasando de menos de 1 Mt en 2007 a más de 4 Mt en 2013. Otros productores con exportaciones en aumento son India, Alemania, Singapur y la RAE de Hong Kong. Las exportaciones de los Estados Unidos han disminuido desde un pico en 2007.

Los principales importadores de PP se ilustran en la Figura 3. China es el principal importador de PP. Su demanda de PP primario ha aumentado de 1,6 M en 2000 a 3,6 Mt en 2013, un aumento de más del 125%. La demanda de PP de Turquía e Indonesia

también ha aumentado considerablemente, al igual que la demanda de este polímero de Alemania. Estos cambios indican que, aunque los aumentos en la fabricación en las economías emergentes (especialmente China) están impulsando la demanda de PP, la demanda general de PP, en relación con otros materiales, también está aumentando en las economías manufactureras bien establecidas.

Fig. 1 | Tendencias de las cantidades de las importaciones mundiales y del precio medio del PP (2000-2013)

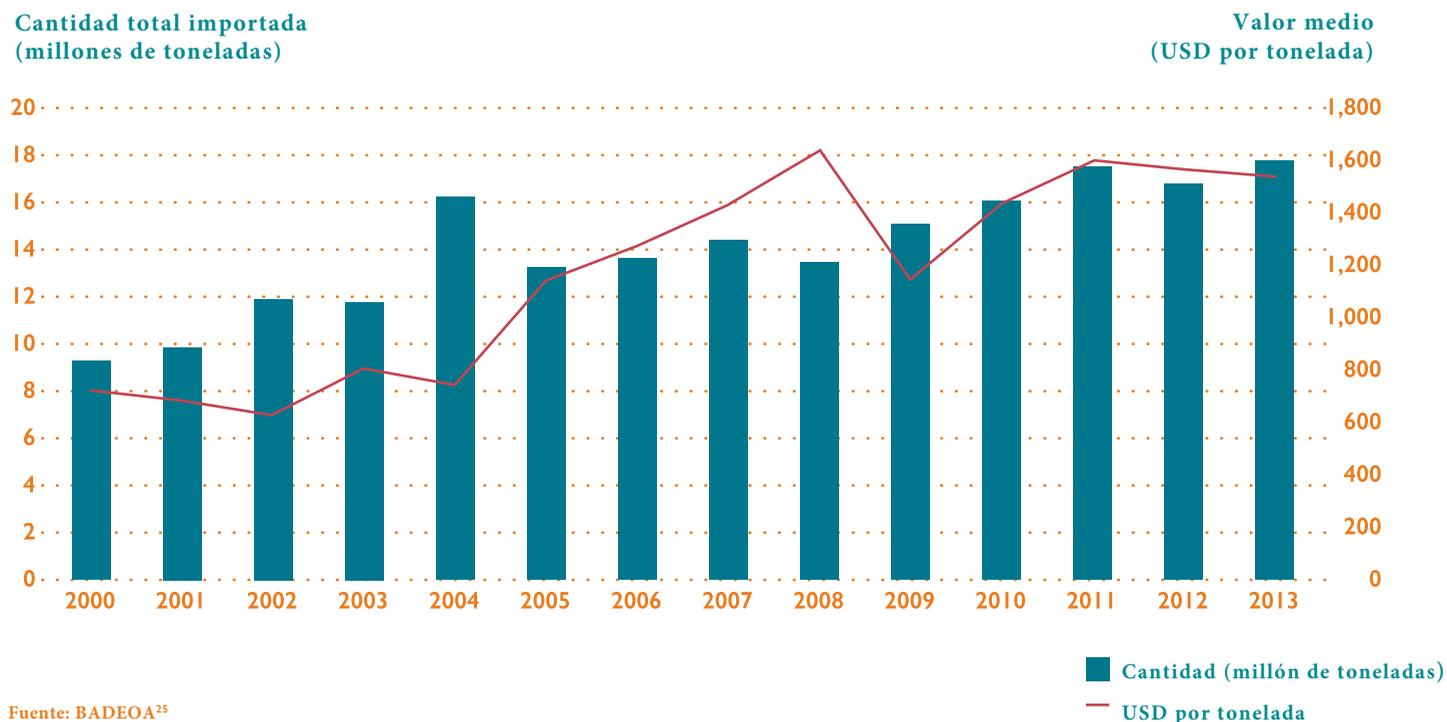
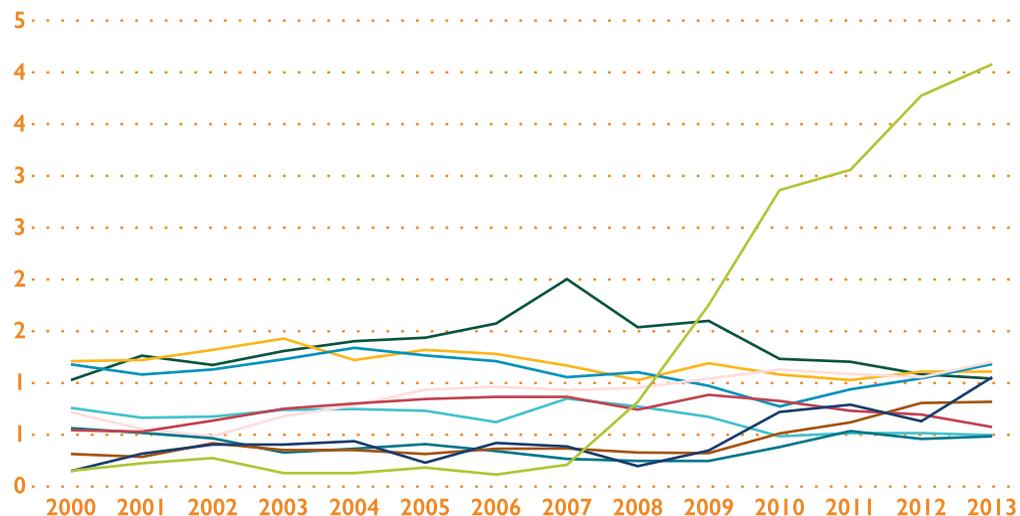


Fig. 2 | Tendencias del comercio transnacional de PP: Los diez principales exportadores de PP virgen en 2000-2013

Exportación de cantidad
(millones de toneladas)



Arabia Saudita

Alemania

Rep. de Corea

Bélgica

India

EE.UU.

Singapur

China, RAE de Hong Kong

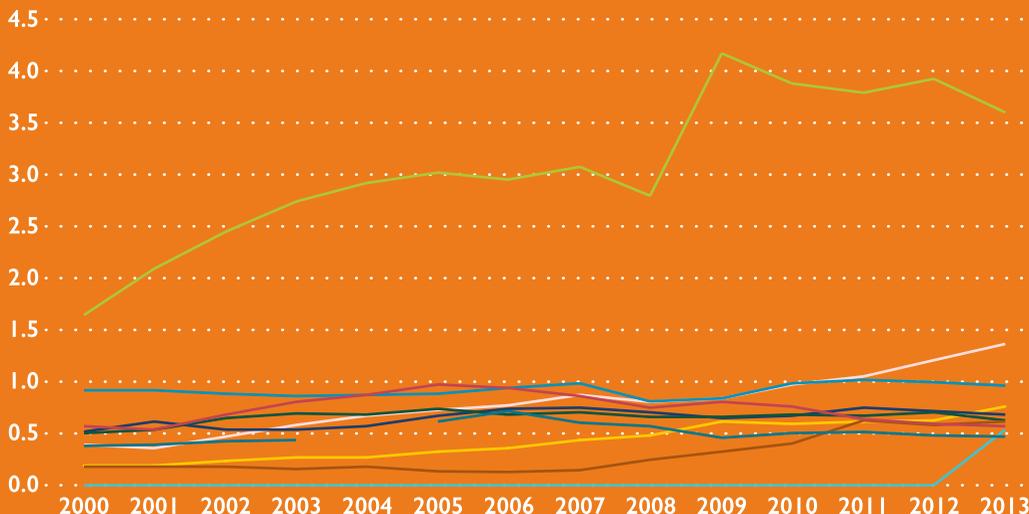
Francia

Tailandia

Fuente: UNComtrade (2015)²⁵

Fig. 3 | Tendencias del comercio transnacional de PP: Los diez principales importadores de PP virgen en 2000-2013

Exportación de cantidad
(millones de toneladas)



China

Turquía

Italia

Viet Nam

Alemania

Bélgica

Indonesia

China, RAE de Hong Kong

Madagascar

México

Fuente: UNComtrade (2015)²⁵

Realidades y tendencias del mercado en PP reciclado

Hay muy pocos datos sobre los niveles y precios del comercio de chatarra de PP. Debido a las dificultades asociadas con la separación de este material de otros polímeros, se cree que la mayoría del PP reciclado se comercializa como un componente de plásticos reciclados mixtos. Dado que China y la RAE de Hong Kong dominaron hasta hace poco las importaciones mundiales de chatarra de plástico,²⁶ la mayor parte de este material podría haberse exportado a China, donde se supone que se separa para su reciclaje o se elimina con los materiales rechazados. Según Zhang, los residuos de PP importados en China se presentan principalmente en forma de plásticos mixtos y se utilizan para fabricar colgadores, tuberías, bandejas y baterías.²⁷

China es el destino dominante de los plásticos reciclados y su demanda de plásticos de desecho ha crecido constantemente durante los últimos 10 a 20 años. Se espera que la demanda de plásticos reciclados en China haya crecido a 29 Mt para 2015, un 65% más que las cifras de 2009. Si generalizamos a partir de la situación del Reino Unido y asumimos que el PP comprende el 2% de los plásticos de residuos mixtos importados a China, esto sugeriría un total de solo 75.000 toneladas (t) de chatarra de PP exportada a China en 2013. Sin embargo, esto es muy especulativo.

A pesar del nivel relativamente bajo de exportación de PPr a China, se cree que existe una demanda considerable en China de PP reciclado para su uso en aplicaciones de embalaje como bolsas de fertilizantes y cemento.¹³ Es probable que esta demanda crezca en línea con el crecimiento general de la demanda de plásticos en China. Los comentarios en la literatura también sugieren que el sector de conversión de plásticos de India está creciendo rápidamente y, por lo tanto, también es probable que se convierta en un mercado fuerte para polímeros plásticos recuperados de buena calidad, incluido el PP.

Este aumento de la demanda se refleja en el aumento del valor del PP desde 2000. Las cifras siguientes (Figura 4) ilustran el cambio en los precios de las escamas y la resina de PP reciclado en los Estados Unidos desde 1990.

El alcance muy limitado del reciclado y la recuperación de PP por separado explica en cierto modo la falta de datos sobre los precios de PPr y las tendencias del mercado, al menos en fuentes disponibles en el dominio público. Por ejemplo, la base de datos Comtrade de las Naciones Unidas recopila datos sobre los niveles generales de chatarra plástica comercializada y las cantidades y valores de PE, PS y PVC, pero no para PP. Otras fuentes en los medios del sector de residuos (por ejemplo: Letsrecycle y Materials Recycling Weekly en el Reino Unido) presentan solo información para los polímeros más comercializados (LDPE, HDPE y PET). Si se van a mejorar los mercados de materiales secundarios, incluido el PPr, sería necesario un flujo de información eficaz, incluidos precios claros. En la actualidad, la información sobre los mercados y los mecanismos para el comercio eficaz de residuos plásticos es escasa. Para facilitar este proceso, es importante la recopilación, el análisis y el suministro de datos de buena calidad sobre los mercados. El sector de la gestión de residuos tiene un papel que desempeñar en el establecimiento y mantenimiento de los sistemas necesarios para recopilar los datos necesarios para permitir que los mercados funcionen correctamente.

En cuanto al valor monetario comercial del PPr, al igual que otros plásticos reciclados, se ve afectado por el precio del petróleo, siendo los plásticos reciclados más competitivos que los polímeros vírgenes si el precio del petróleo es alto. Este vínculo con los precios del petróleo ha sido ilustrado más recientemente por la fuerte caída del precio del petróleo que se produjo a finales de 2014 / principios de 2015, creando turbulencias en los mercados de plásticos, con una caída resultante en los precios de los polímeros reciclados. Este precio está afectando actualmente a las empresas de reciclaje en toda Europa. El efecto de esta caída en el valor de los precios del PP virgen se muestra en la Tabla 2.



Fig. 4 | Resumen del precio de las escamas de PP reciclado y de la resina de PP (1990-2014)



Todos los precios son precios estimados del mercado estadounidense, en centavos por libra, para la resina de primera, sin relleno, de color natural.

Fuente: PlasticNews²⁸

Tab. 2 | El impacto de los precios del petróleo en los precios de los polímeros vírgenes a finales de 2014

POLÍMERO/MES	SEP	OCT	NOV	DIC	RECUCCIÓN
Homopolímero PP	1390-1450	1380-1440	1320-1380	1280-1350	105
Copolímero PP	1440-1500	1430-1490	1370-1430	1330-1400	105

Precio en euros por tonelada.

Fuente: Plasticker (2015)²⁹

Barreras y oportunidades para el reciclaje sostenible de PP

Esta revisión del polipropileno destaca una serie de problemas clave asociados con la gestión de materiales secundarios y los problemas de la economía circular en el contexto del PP. Los hallazgos clave de la revisión que hemos realizado se tabulan a continuación. También los consideramos en términos de: (i) las oportunidades para incrementar el uso de PP reciclado como material secundario de manera sustentable; y (ii) el papel potencial del sector de la gestión de residuos en la gestión de recursos y la transición a una economía circular.



Tab. 3 | Barreras técnicas para el reciclaje sostenible de materiales de PP

BARRERA

COMENTARIO

DIFICULTADES EN LA IDENTIFICACIÓN Y SEPARACIÓN DE POLÍMEROS

Complejidad de los plásticos: Los plásticos se mezclan con otros polímeros^{6,8}, o con diferentes grados del mismo polímero⁶ o con diferentes colores.

El principal contaminante del PP recuperado es el HDPE de los cierres y accesorios de las botellas. Los productos de PP contienen a menudo diferentes grados de PP combinados con otros materiales en estructuras de velo laminado o metalizado⁶. Además, el tamaño y la accesibilidad de las piezas de plástico en algunos productos son difíciles³⁰. La clasificación de envases de PP impresos directamente y envases de PP con etiquetas impresas en el molde necesita más investigación. Es posible que los paquetes de PP transparentes o naturales que se imprimen en la superficie no puedan clasificarse mediante sistemas automatizados.¹⁸

PP de calidad alimentaria

Los estrictos requisitos regulados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (AESA) con respecto al uso de PPr en aplicaciones de contacto con alimentos, junto con la ausencia de un método de clasificación automatizado para clasificar los residuos de envases de PP mezclados en PP de grado alimenticio y no apto para alimentos, dificultan tener un ciclo cerrado de reciclaje en PPr de calidad alimentaria.

PP negro

El equipo espectrométrico NIR utilizado en la mayoría de los MRF tiene limitaciones con la separación de plásticos de colores (particularmente el negro); y con la distinción entre diferentes grados del mismo polímero, pero actualmente se están evaluando nuevas alternativas en el diseño de materiales y diversas soluciones tecnológicas de clasificación para superar esta barrera.

Tab. 3 | Barreras técnicas para el reciclaje sostenible de materiales de PP

BARRERA	COMENTARIO
INCOMPATIBILIDADES	
Inmiscibilidad con otros polímeros	La mayoría de los polímeros no son compatibles entre sí durante la recuperación mecánica (nivel de miscibilidad). ^{18, 31} Esto se debe a los diferentes requisitos de procesamiento de los polímeros, ³² que pueden conducir a productos reciclados indeseablemente heterogéneos con áreas no fundidas y / o sobre fundidas en detrimento de sus propiedades mecánicas. ³³
Limitaciones de la colección combinada	Recientemente, en algunos países de la UE, como en el Reino Unido, los sistemas de recolección se están moviendo hacia la recolección combinada como canal principal para la recolección de plásticos domésticos para maximizar la tasa de recolección de materiales reciclables. Esto podría resultar en efectos perjudiciales en los pasos de procesamiento posteriores (por ejemplo, en MRF), y especialmente durante la clasificación, que es un proceso energético y costoso.
CONTAMINACIÓN	
Sustancias peligrosas (aditivos como ciertos BFR) - legado pasado	Aunque ahora se prohíbe el uso de ciertos retardantes de llama bromados (BFR) en Europa y los EE. UU., Por lo general, se encuentran en los residuos de la trituradora de RAEE, un legado del pasado. Las instalaciones de tratamiento de RAEE deberán distinguir entre los plásticos que contienen BFR prohibidos y los que no lo hacen, para garantizar que los BFR no vuelvan a entrar en el flujo de material, para evitar la contaminación por dispersión. La fracción separada de residuos que contienen BFR debe recuperarse en una instalación autorizada para recibir BFR. ³⁵ La recuperación térmica adecuada es una forma eficaz de destruir los COP.
Contaminantes como alimentos, aceites, suciedad, adhesivos, etc.	Muchos recubrimientos y adhesivos (materiales termoendurecibles) no se mezclan bien con el PP y, dependiendo de su uso final, algunos de ellos pueden no tener función en los productos PPr (absorbentes de UV, retardadores de llama). ² El PPr para aplicaciones alimentarias puede verse limitado por problemas con la adhesión de contaminación orgánica que podrían alterar el olor y el color después del proceso de descontaminación. ³⁷ La descontaminación es un proceso que consume mucha energía y requiere tratamiento de aguas residuales.
DEGRADACIÓN	
Durante el ciclo de vida de los productos de PP	El PP es sensible a la oxidación de la luz solar y puede necesitar la adición de aditivos apropiados durante el reciclaje (rejuvenecimiento). Los aditivos UV deben regenerarse antes de su uso. Además, los rellenos de vidrio largos contenidos en algunos productos de PP pueden romperse durante el proceso de reciclaje.
INTERCAMBIO DE PROPIEDADES DE MATERIALES Y PRODUCTOS	
Aligeramiento	La organización europea de recicladores de plásticos (EuPR) señala que, aunque el ahorro de costes y el deseo de evitar el desperdicio han llevado a diseños de botellas rígidas más delgadas, de hecho han provocado dificultades en los procesos de recuperación mecánica como el triturado, la limpieza, etc.

Barreras ambientales para el reciclaje sostenible de PP

Los productos de PP producidos recientemente o en el pasado podrían contener ciertos aditivos como antioxidantes, estabilizadores, colorantes, rellenos y plastificantes que pueden incluir componentes tóxicos como metales pesados, plastificantes de ftalato y BFR. Sin embargo, un estudio reciente ha evaluado los peligros para la salud y el medio ambiente de los productos químicos utilizados en 55 polímeros, concluyendo que el PP y los polietilenos (LLDPE, HDPE y LDPE) son los polímeros menos peligrosos.⁴

Algunos aditivos pueden estar unidos a la estructura polimérica de los plásticos, mientras que otros pueden filtrarse de los plásticos. No se sabe que la mayoría de los aditivos en uso tengan riesgos ambientales o para la salud. Los productos plásticos deben cumplir los estándares de calidad y seguridad y, por lo tanto, los aditivos que puedan representar un riesgo para la salud o el medio ambiente no están permitidos en Europa. La presencia de estas sustancias en productos plásticos es manejada por RoHS (solo para EEE), REACH (y CLP para etiquetado), el Reglamento de COP y la legislación específica sobre contacto con alimentos.² Esquemas como EUCertPlast

proporcionan certificación para recicladores de plástico auditados en Europa. La certificación funciona de acuerdo con la Norma Europea EN 15343: 2007 centrada en la trazabilidad y evaluación de la conformidad y el contenido reciclado de plásticos reciclados que tiene como objetivo proporcionar estándares para el reciclaje de plásticos respetuosos con el medio ambiente. Sin embargo, algunos de los productos plásticos utilizados en Europa se importan de otros países en desarrollo donde se aplican normativas medioambientales menos estrictas. La Tabla 4 resume el potencial de las barreras ambientales para reciclar PP de manera sostenible.

Tab. 4 | Barreras ambientales para el reciclaje sostenible del PP

BARRERA

COMENTARIO

Aditivos potencialmente peligrosos

Los productos de PP contienen diferentes tipos de aditivos: como antioxidantes y estabilizadores debido a su alta susceptibilidad a la oxidación.³⁶ Los recubrimientos de cables y alambres utilizados para aplicaciones eléctricas y electrónicas requieren estabilización térmica o reticulación a largo plazo y, por lo general, requieren aditivos³⁸ retardadores de llama que son sustancias peligrosas. Los envases que entran en contacto con alimentos necesitan aditivos para mejorar la resistencia al calor y al impacto.³⁸ En las industrias automotriz y de la construcción, también se agrega relleno para proteger de la degradación.

El PP posconsumo procedente de aplicaciones de grado alimenticio contiene contaminantes orgánicos, mientras que las aplicaciones de envasado no alimentario pueden contener sustancias de detergentes, productos de higiene personal y limpiadores químicos domésticos.¹⁸ Los tubos y botellas de PP que contienen enjuague bucal y champú pueden contener materiales de alto peso molecular como hexilsalicilato y miristato de isopropilo con altos puntos de ebullición y baja volatilidad, difíciles de eliminar a la baja temperatura que se utiliza para producir HDPE reciclado de calidad alimentaria en el Reino Unido.¹⁸ Este es un problema para el PPr para cumplir con la Normativa europea para plásticos en contacto con alimentos que tiene como objetivo garantizar que el producto sea seguro y no transferir ningún contaminante a los alimentos.¹⁸

PP de calidad alimentaria

Según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), se debe cumplir un límite de migración de 10 ppb en el material alimentario. Para evitar este tipo de contaminación y hacer factible el reciclaje del PP de los envases de alimentos, es importante desarrollar y comercializar métodos de clasificación automatizados capaces de separar el PP de grado alimenticio del PP de grado no alimentario.

Los resultados de un estudio³⁷ reciente realizado en el Reino Unido demuestran que el PPr de alimentos secos y semisecos (por ejemplo, hongos) se puede utilizar en calidad alimentaria con un contenido reciclado de hasta el 100%. Sin embargo, en el caso del PPr de productos como la margarina, no más del 5% del contenido reciclado puede reemplazar al PP virgen. Los niveles intermedios serían aceptables para el PPr de otros alimentos como el pescado (15%) o la carne (20%).

Emisiones durante el procesamiento

Aunque la temperatura de fusión en el reciclaje mecánico de PP (150-250 ° C) es mucho más baja que la temperatura pirolítica de los procesos de extrusión de PP virgen (350 ° C), varios compuestos orgánicos volátiles (COV), debido al envejecimiento, largo tiempo exposición y las interacciones entre los aditivos y el PP reciclado, todavía se libera una pequeña fracción de COV durante el proceso de fusión por extrusión. Los alcanos son los COV más abundantes para el PP, y representan el 37,5% de las emisiones de COV durante el reciclaje del PP.³⁹



Tab. 4 | Barreras ambientales para el reciclaje sostenible del PP

BARRERA

-Etiquetando la química:
PP de grado alimenticio

COMENTARIO

Las pintas directas y las etiquetas en molde utilizadas en los envases de PP causan problemas durante el reciclaje. Pueden contener sustancias potencialmente peligrosas como la benzofenona, que se utiliza como fotoiniciador en muchas tintas curadas por UV. Muy pocas tintas de impresión están aprobadas para el contacto directo con alimentos porque la mayoría de ellas podrían descomponerse en sustancias nocivas durante el proceso de reciclaje. Las escamas impresas directamente terminan en el flujo de escamas de PP destinado al contacto con alimentos y los residuos de tinta podrían permanecer en el producto reciclado final. Una vez derretida, la tinta decolorará la resina y la tinta se dispersará dentro del polímero fundido, dificultando la eliminación. Si hay tinta presente en la resina reciclada, podría haber una migración de los compuestos residuales de tinta a los alimentos o bebidas.¹⁸

Estudios de LCA

Si bien no hay estudios de LCA centrados exclusivamente en PP, una serie de publicaciones científicas⁴⁰⁻⁴² relevantes alertan sobre el desempeño ambiental real del reciclaje mecánico de plásticos usados, por ejemplo frente a otras opciones de recuperación de recursos como EfW. Algunos estudios indican que un porcentaje muy alto de material virgen debe sustituirse por polímero secundario para que el reciclaje mecánico sea la opción más ecológica. Además, a pesar de que la clasificación y el reprocesamiento avanzados pueden ocurrir en países / situaciones con una tecnología de prevención de la contaminación menos que óptima o inexistente^{43, 44} (ver también la siguiente entrada a continuación), no hay ningún estudio de LCA que tenga en cuenta estas condiciones reales.

Exportación para reprocesamiento
y fabricación en condiciones menos
desarrolladas ambientalmente

A veces (pero no siempre), las cadenas de suministro globales de materiales secundarios pueden seguir una "vía estándar de protección ambiental mínima".⁴³ Para los plásticos en las carcasas de RAEE, la UE estimó que, en el peor de los casos, el 41% de los RAEE podrían no ser tratados adecuadamente en el extranjero. Como se indicó en el informe correspondiente de ISWA del Grupo de trabajo sobre globalización y gestión de desechos²⁶; ° [...] deben tenerse en cuenta el grado exacto de los desechos plásticos y las condiciones de fabricación para que se materialicen los beneficios medioambientales del reciclaje internacional de plásticos. Es necesario realizar más investigaciones para cuantificar con precisión las implicaciones ambientales del comercio mundial de plásticos usados. [hay] preocupaciones por los beneficios ambientales no óptimos que resultan del reciclaje en malas condiciones de fabricación y protección ambiental [...]. ''

Barreras económicas para el reciclaje sostenible del PP

Los obstáculos económicos al reciclado del PP (véase el cuadro 5) incluyen los costos asociados a la recogida, el transporte, la clasificación y el reciclado, la calidad de los insumos y los requisitos de calidad de los productos, los precios de mercado y la rentabilidad de las plantas de reciclado.

Tab. 5 | Barreras económicas para el reciclaje sostenible del PP

BARRERA	COMENTARIO
Gastos de recogida y transporte.	La recolección de plásticos es una parte costosa de todo el proceso de recuperación de material. El costo de transporte de los desechos plásticos es alto en términos de costo unitario por tonelada, debido a su baja densidad. Esto es particularmente cierto en el caso de artículos relativamente grandes que contienen una fracción relativamente pequeña de PP ⁴⁵ ; y en el caso de envases de PP flexibles con una relación peso / volumen baja (por ejemplo, capas).
Instalaciones de clasificación - requisitos de entrada y salida de residuos	Las diferencias en los tamaños, formas, grados de PP y otros aspectos de la calidad de los grados que llegan a los MRF pueden ser un desafío para las actividades de recuperación y reprocesamiento. El material de entrada a los MRF y PRF es un aspecto clave en el reciclaje de plásticos. Una proporción considerable de residuos plásticos puede ser de muy mala calidad para un reciclaje de material rentable. ⁴⁶ Debido al alto costo de inversión, para que las instalaciones de clasificación se conviertan en económicamente viables, los desechos plásticos deben recolectarse en cantidades suficientes para permitirles operar a su capacidad nominal, el equipo funcionando eficientemente con el mayor rendimiento técnicamente posible. ⁴⁷ La baja calidad y cantidad de los residuos plásticos que se generan dificulta el reciclaje a bajo costo. ³⁸ El potencial para aumentar el reciclaje mecánico se limita a material de calidad relativamente alta (material relativamente limpio, clasificado por tipo de polímero).
Clasificación de costos	El reciclaje mecánico siempre requiere una separación previa por tipo de resina. La producción de resinas recicladas de alta calidad capaces de desplazar las resinas vírgenes requiere clasificar los desechos a niveles de alta pureza. ⁶ El reciclaje de materia prima tiene una mayor flexibilidad en términos de composición de residuos, pero en la mayoría de los casos también se requieren algunas operaciones de pretratamiento y / o separación. Los esquemas de reciclaje posconsumo se diseñan típicamente para envases rígidos que dificultan la manipulación de envases flexibles de PP (capas), lo que hace que su reciclaje sea menos rentable. ³² En la producción de PTT se utiliza una gama más amplia de grados de PP en comparación con las botellas de HDPE y PET, que obstruyen el proceso de clasificación.
Costos del reciclaje de plástico	Los costos de procesamiento están determinados por la calidad del material, el tipo de polímero, así como por la instalación y los tipos de tecnologías utilizadas. ² En el reciclaje mecánico, podría ser necesario volver a mezclar el material reciclado con aditivos y / o más materia prima virgen para mejorar el procesamiento y restablecer las propiedades del plástico. ² El reciclaje de PP es actualmente en gran parte mecánico, porque el reciclaje de materias primas de polímeros todavía se lleva a cabo principalmente a escala de laboratorio porque sigue siendo económicamente menos viable. Por lo general, por ejemplo, las plantas de gasificación deben tener una licencia para las plantas EfW y se deben cumplir estándares de emisiones muy estrictos. Los costos asociados con el cierre del ciclo / recuperación de recursos están impidiendo el reciclaje de PP y, más ampliamente, de todos los recursos secundarios. Es un hecho que los materiales secundarios están compitiendo con los vírgenes también en el costo de fabricación, y esto debe abordarse creando un campo llano y nivelado, cuando sea posible, mediante la introducción de políticas fiscales relevantes. La relación entre materiales secundarios y vírgenes es un tema actualmente poco explorado.



Tab. 5 | Barreras económicas para el reciclaje sostenible del PP

BARRERA	COMENTARIO
Capacidades requeridas (suministro estable)	El reciclaje mecánico es rentable en operaciones de pequeña escala comparativamente, mientras que el reciclaje de materia prima no es comercialmente viable con el mismo rendimiento. ⁶ La capacidad para reciclar mecánicamente cantidades actuales de residuos plásticos procedentes de fuentes domésticas mixtas, ELV y RAEE parece relativamente limitada en la UE. El aumento de la cobertura de los esquemas de recolección exacerbará este desafío, pero puede asegurar el suministro de desechos plásticos para los reprocesadores en otros lugares o para las economías de escala necesarias para el reciclaje térmico de PP. Sin embargo, actualmente se aplican en la UE limitaciones legalmente vinculantes sobre el reciclaje no mecánico de plásticos de embalaje.
Calidad del PPr: productos con contenido reciclado (real y percibido)	<p>La percepción negativa de la calidad (propiedades mecánicas más bajas, diferencias en el aspecto físico, como el color gris del PPr, contenido de material potencialmente peligroso) del PP reciclado, lo hace menos atractivo para ciertas aplicaciones (como el envasado de alimentos)²² y dificulta el desarrollo del mercado de plásticos reciclados.² El ecodiseño puede desempeñar un papel activo proporcionando las herramientas para evitar efectos negativos sobre la reciclabilidad de los residuos plásticos; y puede ser necesaria una mayor confianza en la reciclabilidad potencial.</p> <p>Existe información limitada sobre las aplicaciones actuales y futuras de productos de plástico reciclado y sobre los posibles procesos de sustitución en los mercados de clientes finales.⁴⁸ Hay una falta de especificaciones de salida para los productos reciclados⁴⁷, como el porcentaje de material objetivo en la paca y el tamaño de la paca y el sistema de unión, niveles máximos para contaminantes particulares en el material (por ejemplo, desechos orgánicos, RAEE, metales, madera o material).⁴⁹</p>
Precio de los materiales secundarios - competencia con las materias primas	<p>Los precios de los plásticos recuperados están vinculados al precio de los plásticos vírgenes² y no están determinados por los costos de producción, como lo estarían en un mercado eficiente.² El bajo precio de la materia prima petroquímica en comparación con la planta de reciclaje y los costos³² de reciclaje, así como la falta de demanda del mercado final para las fracciones clasificadas,⁴⁷ son barreras para aumentar la tasa de reciclaje de plásticos.</p> <p>Si bien no hay pruebas concretas hasta la fecha, es posible que sea necesario investigar la economía de la producción de materias primas, incluido el PP, en busca de subsidios ocultos, con miras a establecer un campo llano con materias primas secundarias (PPr).</p>
Virgen vs. Mercados de plástico recuperados	<p>Solo algunos mercados de productos plásticos secundarios están bien establecidos (PET o HDPE) y, en general, los mercados de plásticos recuperados aún son inmaduros y su viabilidad puede estar sujeta a los altos precios del petróleo y del plástico virgen.² Se esperaría que una disminución significativa en los precios preferenciales suavizara la demanda de material recuperado, reduciendo el incentivo para que los consumidores busquen alternativas.¹⁴</p> <p>La falta de transparencia y la complejidad de los mercados secundarios de materias primas,²⁶ incluidas las cadenas de suministro globales⁴³ con asimetría de información para los jugadores, podrían estar impidiendo la maduración del mercado.</p>

Oportunidades para aumentar el reciclaje de PP sostenible

A pesar del desarrollo de nuevas tecnologías de reciclaje para plásticos, la fracción de residuos de PP sigue siendo uno de los principales polímeros menos reciclados debido a razones técnicas, económicas y medioambientales. Sin embargo, la creciente demanda de PP en diferentes

aplicaciones, como la industria automotriz, la construcción y la edificación y, más recientemente, en aplicaciones de grado alimenticio aumenta el potencial para aumentar el uso de PPr lo que resulta en una mayor sustitución de material virgen. La Tabla 6 resume las oportunidades para incrementar dicha sustitución.

Tab. 6 | Oportunidades para aumentar el reciclaje de PP sostenible

ESTRATEGIA	OPORTUNIDAD
Desarrollo técnico de procesos de reciclaje	<p>Desarrollo de:</p> <ul style="list-style-type: none">• Tecnologías de clasificación automatizadas capaces de distinguir el PP de calidad alimentaria, que es adecuado para el reciclaje de calidad alimentaria, del PP de calidad no alimentaria.• Convertir etiquetas impresas directamente y en molde de envases de PP en contacto con alimentos en tipos de etiquetas que se pueden quitar en el proceso de reciclaje; y convertir más envases de PP en contacto con alimentos de polímero pigmentado a polímero natural, para que sea más fácil recuperar un flujo separado de PP natural no pigmentado con mayor valor y más aplicaciones de uso final en el sector del envasado de alimentos.¹⁰• Nuevas tecnologías de clasificación para identificar PP negro contenido en residuos (de envases).• Catalizadores nuevos y más selectivos, tecnologías de reactores para rentabilizar el reciclaje de materias primas (procesamiento térmico) mediante la reducción de los costos de capital y operativos.• Identificación de nuevos segmentos de mercado potenciales para PPr, como aplicaciones en contacto con alimentos.• Economías de escala en las distintas etapas de recogida, lo que permite su posterior reprocesamiento.
Difusión de avances técnicos e información	Tanto los avances tecnológicos como los nuevos procesos de diseño de materiales y productos plásticos (estructura y tipos de materiales utilizados) tienen una influencia clave en su reciclabilidad. Recoup publicó recientemente una nueva edición de su guía sobre 'Diseño y reciclaje de material de embalaje de plástico' ⁵² , con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión de las implicaciones ambientales de las decisiones de diseño de embalaje. La guía contiene tablas de reciclabilidad para cada polímero principal, incluido el PP, y busca incentivar la selección de las materias primas para que los plásticos en los productos de empaque se puedan reciclar más fácilmente.
Selección inteligente de materiales	
Garantía de calidad	La caracterización avanzada de materiales en línea en tiempo real y el control de calidad se están volviendo más factibles y, junto con los enfoques tradicionales de QC / QA y estandarización de resultados, pueden aumentar la confianza en el PPr como materia prima (secundaria) para fines específicos. Debe hacerse hincapié en garantizar la calidad de la PPr. ⁴⁴
Procesamiento de residuos de una fabricación	
Fin de los residuos (EoW)	La Comisión Europea está estableciendo criterios de finalización de residuos para una serie de materiales reciclables específicos, incluidos los residuos de papel (criterios de la EoW para residuos de papel: propuestas técnicas ¹) y los plásticos (criterios de la EoW para residuos de plástico para conversión ²) que definen los requisitos técnicos que deben cumplir estos residuos corrientes que deben cumplirse para dejar de ser residuos en la UE.



Tab. 6 | Oportunidades para aumentar el reciclaje de PP sostenible

ESTRATEGIA	OPORTUNIDAD
Mejorando la reciclabilidad del material	Podría ser más rentable: diseñar productos con una vida útil prolongada; utilizar polímeros más reciclables y compatibles en el diseño de productos y envases, productos químicos menos nocivos al limitar el uso de aditivos y utilizar piezas de plástico que no estén recubiertas ³¹ para optimizar el reciclaje. Un buen diseño podría, en teoría, evitar la disipación del valor de los productos de PP al final de su vida útil.
Diseño para reciclaje y desmontaje	<p>Diseño para lograr un desmontaje más fácil de los materiales³⁸ en el sistema de reciclaje actual. Por ejemplo, el diseño de productos compuestos de PP reforzados con fibra de PP, así como el uso de etiquetas, adhesivos, pigmentos y tintas para maximizar el rendimiento del reciclaje.³²</p> <p>Reducir la gama de tipos de polímeros utilizados en los envases a solo PET, HDPE y PP para mejorar la reciclabilidad, lo que convierte al PP en un tipo de polímero significativo dentro de la mezcla de envases domésticos, digno de ser reciclado.¹⁰</p> <p>Desarrollo de colorantes negros alternativos que permitan la clasificación óptica; y el desarrollo de nuevas técnicas de clasificación y reciclaje⁵⁰ y aditivos rejuvenecedores menos costosos, como rellenos alternativos de productos agrícolas o materiales orgánicos de desecho (es decir, cuero de desecho) o nuevos pigmentos y fragancias de fuentes naturales.³⁸</p> <p>Desarrollar nuevos métodos para compatibilizar resinas de diferente morfología o reología para crear productos útiles con propiedades equivalentes a materiales vírgenes.^[38] Actualmente, hay algunas empresas que están vendiendo una variedad de compatibilizadores que permiten que los plásticos que no se pueden clasificar y volver a fundir, debido a la contaminación con otros polímeros, se moldeen en productos terminados con propiedades de materiales aceptables (no reciclaje de circuito cerrado: modelo en cascada de recuperación de valor).</p> <p>El uso de pigmentos fluorescentes aplicados a productos de tinta existentes y aplicados a etiquetas y embalajes permitiría su identificación del PP de calidad alimentaria utilizando una tinta legible por máquina (MRI). Esto requeriría la modificación del equipo óptico / NIR de clasificación existente. Se espera un pequeño costo de capital (del orden del 10 al 20% del costo de la unidad completa) y bajos costos operativos debido al bajo uso de energía y la larga vida útil de los LED. Idealmente, la etiqueta o la marca se retirarían mecánicamente o se lavarían durante el procesamiento posterior. Los resultados de la prueba muestran un alto rendimiento del 74% con una pureza del 93% de las muestras etiquetadas legibles por máquina.⁵¹</p> <p>El uso de nuevas etiquetas para envases de PP aptas para el reciclaje de grado alimenticio, como las etiquetas pelables en el molde, podría aumentar el PP rígido adecuado para el reciclaje de grado alimenticio a alrededor de 72.500 t/año-1 con tasas de reciclaje del 50%.^[10]</p>

Papel y cartón

Propiedades y usos

El papel y cartón se fabrica a partir de fibras lignocelulósicas vegetales de madera y otros cultivos de fibras (por ejemplo, paja, bambú y bagazo) o de papel y cartón recuperados para su reciclaje. El papel se clasifica por peso en gramos por metro cuadrado (gsm), siendo 80 gsm el peso del papel de fotocopiadora promedio. Los productos con más de 220 g / m² se consideran cartón. La mayoría del papel y cartón producido a nivel mundial se utiliza como material de embalaje (indicativamente, según las estimaciones para los países de la CEPI (Confederación de Industrias Papeleras Europeas) en 2014: 47,6%)⁵³. Otras aplicaciones importantes de los productos de papel y cartón incluyen (ibid) papeles gráficos sin estucar (16,1%), gráficos estucados (16,1%), papel de periódico (8,3%) y sanitarios y domésticos (7,6%).

Las propiedades y características del papel y cartón dependen de las materias primas y del proceso de fabricación del papel; se diferencian en función del uso previsto. Por ejemplo, si se utiliza como material de envasado, debido a sus pobres propiedades de barrera, el papel debe tratarse e impregnarse con otros materiales para su uso en aplicaciones de contacto con alimentos. Las fibras comprenden la mayoría en masa de productos de papel y cartón. Los materiales no fibrosos se agregan durante el proceso de fabricación del papel para conferir características especiales al producto final e incluyen almidones, arcillas, recubrimientos y adhesivos.



Tab. 7 | Grados de papel recuperados

GRADOS DE PAPEL	DEFINICION
Grados mixtos	Amplia categoría con una amplia variedad de calidades con fibras de alto valor (papeles y cartones mixtos). Es costoso de clasificar y contiene una amplia variedad de contaminantes. A menudo se requiere una tecnología de separación costosa para clasificar en grados de valor que pueden no ser económicamente viables.
OCC (cartón ondulado antiguo)	Sacos y papeles de envolver hechos principalmente de pasta química sin blanquear y residuos de envases.
ONP & OMG (periódicos y revistas antiguos)	Periódicos, revistas, folletos y guías telefónicas.
HG & PS (sustitutos de la pulpa y de destintado de alto grado)	Papeles de impresión y escritura de alta calidad sin madera que provienen, por ejemplo, de imprentas y oficinas, así como recortes de cartón blanqueado y otras calidades de alta calidad que provienen principalmente de plantas de impresión y convertidores.

Generación, reciclaje y distribución de residuos de papel y cartón

El papel es un material relativamente fácil de reciclar, con ciclos bien establecidos de circuito cerrado y / o cascada. Las fibras recicladas son una parte clave del suministro de material para la fabricación de nuevos productos de papel y cartón. Según el European Recovered Paper Council (ERPC), en Europa se recogen más de 60 Mt de papel y cartón de desecho para su reciclaje.³ La recogida para reciclaje en Europa ha alcanzado el nivel del 72%, según CEPI, el más alto de todos los continentes, lo que da como resultado que alrededor del 54% de la materia prima de la industria del papel proceda de papel y cartón recuperado⁵⁴ (estimaciones de CEPI y ERPC puede no cubrir los mismos países / años europeos). Sin embargo, las tasas de recolección de papel "recuperado" no reflejan con precisión la situación real con respecto al reciclaje de fibra, porque en la mayoría de los casos el papel y cartón que se recolecta y entrega a una fábrica de papel y se carga en una despulpadora no incluye solo fibra,

pero también varias otras sustancias como minerales, almidón, aditivos, tintas, materiales de revestimiento, componentes distintos del papel, etc. Las tasas oficiales de recolección y utilización no describen exactamente la recuperación de recursos de fibra.

Según ERPC, aproximadamente el 70% del papel y cartón de los envases de desecho se recogió para reciclar en 2014, que fue la recolección más alta para la tasa de reciclaje de todos los materiales de embalaje.³ En Europa, el 50% de los residuos de papel y cartón se recogieron de fuentes comerciales e industriales, el 10% de las oficinas y el 40% restante se recogió en los hogares, ya sea en sistemas de recogida separados o combinados junto con otros materiales reciclados.³

La industria del papel ha establecido normas y buenas prácticas de fabricación para mejorar el reciclaje: (i) la Declaración europea sobre reciclaje de papel que promueve el aumento de la tasa de reciclaje; (ii) las directrices de la Confederación de Industrias Papeleras Europeas para el papel recuperado, (iii) la lista europea de grados estándar de papel y cartón para reciclaje (EN 643), que enumera diferentes grados de papel recuperado y establece límites de contaminación, (iv) el Sistema de Identificación de Papel Recuperado y la

Resolución del Consejo de Europa sobre materiales y artículos de papel y cartón destinados a entrar en contacto con productos alimenticios.

Recientemente (febrero de 2014) en Europa, se armonizó la categorización de tipos y calidades del llamado papel 'recuperado' (o más exactamente 'papel y cartón para reciclar'), y se clasificó en 57 grados de acuerdo con la lista europea revisada de grados estándar de papel y cartón para reciclaje EN 643. La norma divide el papel recuperado en cinco grupos: grados ordinarios, grados medios, grados altos, grados artesanales y grados especiales. Cada uno de estos grupos tiene otros subgrupos que especifican la calidad del papel recuperado en un nivel detallado. La EN 643 también define y establece niveles de tolerancia tales como materiales inutilizables, componentes que no son de papel, papel y cartón perjudiciales para la producción y el contenido de humedad.

Sin embargo, a menudo la industria utiliza históricamente una división en cuatro grados principales (Tabla 8): (i) grados mixtos (amplia variedad de grados con fibras de alto valor que son costosas de clasificar y contienen una amplia variedad de contaminantes que pueden requerir tecnología de separación costosa) para clasificar en grados), (ii) cartulina corrugada vieja (sacos y papeles

de envolver hechos principalmente de pulpa química sin blanquear y residuos de envases), (iii) periódicos y revistas viejos y (iv) destintado de alta calidad y sucedáneos de la pulpa (de imprentas y oficinas, así como recortes de cartón blanqueado y otras calidades de alta calidad procedentes principalmente de imprentas y convertidores).

La reciclabilidad de los productos de papel depende de su capacidad de pulpabilidad y de la capacidad de eliminación de adhesivos y materiales no deseados. En el caso de los papeles de calidad blanca, también deben ser desentintables. En Europa, en promedio, el 19% del consumo total de papel y cartón se consideró (hace 10 años) no recolectable / no reciclable por razones técnicas.⁵⁵ En líneas generales, esto indica que el límite técnico superior para la recogida de residuos de papel es de alrededor del 80%, pero prácticamente puede estar más cerca del 60% (otras estimaciones de 2012).⁵⁷ Los papeles de larga duración representan entre el 2-3% de las unidades del 19% de la fracción de desperdicio de papel no recuperable. Representan el papel de desecho con una vida útil más larga que vuelve al flujo de desechos. Es importante tener en cuenta los papeles de larga duración, porque cuando se calculan las tasas de recogida para reciclaje, la recogida y el reciclaje se

comparan con el papel puesto en el mercado durante un año en particular.⁵⁵ La Tabla 8 muestra los no coleccionables / no reciclables por grado principal de papel y cartón.

Considerando que, todas estas estimaciones de área de límites técnicos de reciclabilidad, debido a que las tasas de recolección para reciclaje ya son altas en algunos lugares de Europa, puede ser un desafío aumentar las tasas de recolección mientras se mantiene la utilidad del papel y cartón recolectados como materia prima secundaria de calidad. Sin embargo, a pesar de las altas tasas de recolección, todavía existe la posibilidad de aumentar aún más la calidad del papel recuperado. Por ejemplo, es evidente que la calidad del proceso general se ve afectada por los métodos de recolección (recolección separada en origen o sistemas mezclados), siendo el primero claramente favorecido por la industria del reprocesamiento.³

La fabricación de papel y cartón es, con mucho, el sector más grande que utiliza fibra recuperada.⁵⁸ Sin embargo, el papel y cartón recuperados también se pueden utilizar como materia prima para fabricar otros productos, por ejemplo, aislamiento, ropa de cama para animales, dibujos animados de huevos, macetas, muebles blandos y máscaras contra el polvo. Según la CEPI, además del uso de la industria del papel, más del 8% del papel

recolectado se utiliza en otras aplicaciones como materiales de construcción, camas de animales, compostaje y energía.⁵⁹ Para el papel y cartón no reciclables (de manera sostenible), también existen soluciones de recuperación de recursos bien establecidas, en forma de opciones de reciclaje de no materiales: El papel y cartón de desecho tiene un valor calorífico relativamente medio y, por lo tanto, es adecuado para la combustión EfW, SRF y RDF, donde también puede atraer subsidios como fuente de energía biogénica neutra en carbono. También es, en la mayoría de los casos, compostable. Existe un mayor interés en el uso de papel y cartón de desecho en la producción de productos primarios, como químicos y combustibles, como parte de los procesos de biorrefinería. En las siguientes secciones, nos enfocamos en la recuperación de fibra para la fabricación de papel y cartón.

Tab. 8 | Recolectabilidad y reciclabilidad

GRADO DE PAPEL	NO RECICLABILIDAD
Papel prensa	0% Técnicamente 100% coleccionable y reciclable
Mecánicos sin recubrimiento	2% (parte de libros)
Mecánicos revestidos	11% (parte de libros y revistas)
Sin madera sin recubrimiento	20% (parte de libros, material de archivo, especialidades)
Libera tramas recubiertas	15% (parte de libros, revistas y otros impresos)
Tejido	100% (Italia 98%, Reino Unido 95%, pérdidas por conversión)
Tableros de cartón	6% (materiales contaminados)
Materiales para fabricar cajas	5% (materiales contaminados)
Saco y papel de regalo	51% (materiales contaminados, especialidades)
Otro papel y cartón de embalaje	8% (parte de tableros macizos, especialidades)
Otro papel y cartón	96% (especialidades, solo se pueden cobrar las pérdidas de conversión)
Total de papel y cartón	19% (basado en la estructura de consumo promedio de CEPI)

Tab. 9 | Mercados finales de papel y cartón reciclados

MERCADO FINAL	COMENTARIO
Fabricación de papel ⁵⁵	<p>Materia prima para otros tipos de papel:</p> <p>Un alto porcentaje del papel recuperado total es de grado marrón recuperado reciclado para la producción de materiales de caja, principalmente de cartón ondulado antiguo (OCC).⁵⁹</p> <p>Los grados de papel blanco recuperado y algunos grados de papel de alta calidad se reciclan en papel de periódico, tejido y otros grados de papel gráfico, así como en las capas superiores de los papeles de embalaje después de un proceso de destintado. Muchos periódicos y ediciones contienen pulpa 100% destintada.⁵⁹</p> <p>Los grados de papel recuperados mixtos se utilizan con OCC para capas de cartón macizo gris que no están destintadas.⁵⁹</p>
Otras aplicaciones ⁶⁰	<p>Cemento / asfalto / etc. producción, aislamiento en edificios (producción de tableros blandos), materia prima para baldosas, gestión de tierras, camas de animales, Agente antipolvo, Recuperación de fibras / plásticos (tecnología VAR) para obtener productos de cartón a partir de rechazos gruesos, producción de Carbonato de Calcio sintético a partir de cenizas de lodo de papel (proceso CalciTech en desarrollo).</p> <p>La tecnología Bio-BTX convierte los desechos en benceno, tolueno y xileno (BTX) de grado industrial. Hidrólisis de materiales lignocelulósicos a azúcares individuales, destinados a ser utilizados como materia prima (segunda generación) para procesos de fermentación hacia bioetanol o bioquímicos de mayor valor agregado (es decir, tecnología Bio-Rights, en desarrollo).</p> <p>Los lodos de destintado son adecuados para la producción de productos minerales con propiedades similares al cemento (CDEM Holland BV, de aplicación industrial).</p> <p>Combustión de lodos de destintado, lodos de tratamiento de aguas residuales y rechazos gruesos para la producción de electricidad o vapor (de aplicación industrial).</p> <p>Digestión directa de rechazos de tamices, rechazos de destintado y lodos secundarios (sin aplicación de funcionamiento industrial).</p> <p>Torrefacción de rechazos gruesos para la obtención de un producto con alta densidad energética que pueda ser utilizado en centrales de carbón por coincineración o como sustituto de pellets de madera (no plantas de torrefacción operativas comercialmente). Los desechos gruesos tienen un alto poder calorífico y, por lo tanto, son adecuados como RDF.</p>



Cerrando el ciclo del material de fibra: tecnologías y procesamiento

El reciclaje de papel (fibra) requiere una serie de pasos de procesamiento que dependen del grado del papel y del producto final. Los principales pasos en el proceso de reciclaje del papel son⁶¹: (i) recolección, (ii) clasificación en una variedad de categorías grados, (iii) lavado para eliminar tintas solubles en agua y partículas finas, (iv) limpieza y cribado para eliminar la suciedad, arena y otros materiales como metales y plásticos, (v) pulpa para descomponer el papel en fibras individuales usando agua y productos químicos y (vi) deshidratación para eliminar el exceso de agua de la pulpa para su posterior procesamiento. Los pasos de procesamiento adicionales que se pueden utilizar en algunos casos son: (i) destintado, que es el proceso utilizado para eliminar la tinta y aumentar el brillo de ciertos tipos de papel, como el papel impreso y algunos tipos de embalaje, como el cartón⁶², (ii) fraccionamiento para separar las fibras por longitud, (iii) blanqueo para mejorar el brillo de la pulpa usando agentes químicos, y (iv) refinado para cambiar las características de la superficie de las fibras (por acción mecánica) para promover una mayor unión fibra a fibra.

Colección

La recolección de residuos de papel y cartón es el primer paso en el proceso de reciclaje. En la mayoría de los países no se dispone de datos de recopilación básicos fiables debido al gran número y a los distintos tamaños de organizaciones que participan en la recogida de papel recuperado. Como resultado, normalmente las cantidades recolectadas se calculan mediante el consumo de papel recuperado y las estadísticas comerciales.⁶³ El tipo de sistema de recogida tiene un efecto sobre la calidad del papel recuperado, ya que repercute en los pasos posteriores del procesamiento del papel recuperado, especialmente durante la clasificación.⁶² El papel y el cartón de origen doméstico generalmente se recolectan por separado o junto con otros materiales reciclables secos (mezclados), mientras que el papel y el cartón de fuentes comerciales e industriales generalmente se recolectan por separado. La calidad del papel recuperado es mucho menor en los sistemas de recolección mezclados en comparación con los selectivos, debido a la mayor contaminación con otros materiales (vidrio, metales, plásticos, etc.), lo que resulta en mayores costos de clasificación, menor rendimiento del proceso y mayores costos de mantenimiento.⁶²

Clasificación

La clasificación del papel puede ser manual o automatizada. Las tecnologías automatizadas pueden ser mecánicas o basadas en sensores, una combinación de ambas.⁶⁴ El método de clasificación y su eficiencia y efectividad determina la calidad del papel recuperado suministrado a las fábricas de papel.⁶⁵ Cada instalación de clasificación tiene una configuración diferente, optimizada para los requisitos específicos de los usos de salida recuperados con sangría. Aunque la clasificación del papel recuperado se realiza principalmente de forma manual, lo que requiere mucha mano de obra y, por tanto, puede resultar costoso, en Europa se están realizando esfuerzos para avanzar hacia sistemas automatizados para reducir dichos costes (cribado mecánico automático y nuevas tecnologías de clasificación óptica). Sin embargo, en algunos casos, la automatización puede generar grados que no corresponden exactamente a la lista EN 643⁶⁶ y aún puede ser necesario un paso final de clasificación manual al final del proceso.⁶² Las tecnologías de clasificación óptica automática utilizan diferentes tipos de sensores basados en diferentes características de los materiales (color, brillo, grosor, rigidez, tamaño, etc.)⁶⁴ que muestran una eficiencia confiable, pero requieren un desperdicio de entrada "relativamente limpio".⁶⁷ La Tabla 10 resume las principales tecnologías de clasificación óptica.

Despulpado

El proceso de fabricación de pulpa tiene como objetivo separar la tinta de impresión de las fibras, eliminar otros contaminantes y mantener el tamaño de partícula de las tintas, "pegajosas" y otras impurezas adecuadas para su eliminación eficiente. Los adhesivos se desintegran durante la fabricación de pulpa en los llamados "pegajosos" que pueden volver a aglomerarse y tienden a adherirse a las partes de la máquina de papel, lo que causa problemas para la producción de papel y afecta la calidad del papel reciclado⁶⁸ creando puntos débiles en el material. Los adhesivos, tintas, cargas, recubrimientos y otros contaminantes se eliminan de las fibras después de la fabricación de pulpa basándose principalmente en propiedades físicas y químicas como tamaño, forma, deformabilidad, gravedad específica y propiedades químicas de la superficie. La capacidad de eliminación de los adhesivos depende de la composición y las características del adhesivo.⁶⁹ El destintado es el proceso que permite que las tintas se desprendan del papel mediante el uso de agua tibia y productos químicos para destintarlo. Luego, la tinta se elimina mediante tamizado, limpieza, flotación y lavado, para minimizar su reposicionamiento en la celulosa.

La eficiencia de eliminación de la tecnología depende de las características de la tinta (tamaño de partícula, densidad de forma y propiedades de la superficie). Existe una amplia gama de tecnologías de destintado y productos químicos de destintado, como la sosa cáustica, el silicato de sodio y el jabón, que se utilizan en la etapa de despulpado para facilitar la liberación de tinta de las fibras.

Destintado

Las principales tecnologías de destintado son: (i) cribado para eliminar contaminantes grandes y rígidos, incluidas películas plásticas, telas, copos de papel y macroadhesivos⁷⁰, (ii) limpieza centrífuga, (iii) lavado de destintado y tamizado utilizados en el destintado para separar partículas más pequeñas que las fibras con agua a través de un tamiz⁷⁰, (iv) flotación y destintado para separar partículas hidrófobas, particularmente partículas de tinta.⁷⁰ La flotación por espuma es el proceso de destintado más común en Europa, (v) el destintado magnético para destintarlo el papel de desecho, (vi) el destintado ultrasónico para eliminar nuevas tintas que resisten el destintado convencional y (vii) el destintado enzimático, que utiliza menos productos químicos que pueden aumentar el nivel de demanda química de oxígeno (DQO) y concentración de productos químicos en el agua efluente, en comparación con los procesos convencionales de destintado. Las tintas utilizadas en los procesos de papel convencionales generalmente se descomponen fácilmente en condiciones alcalinas, produciendo partículas de tinta desprendidas que pueden eliminarse fácilmente por flotación. Las partículas de tinta más pequeñas se eliminan mediante lavado y las partículas de tinta más altas mediante tamizado y separación centrífuga. El destintado neutro tiene un gran potencial para reducir el uso y el costo de productos químicos, reducir el costo del tratamiento del agua, mejorar el proceso de reciclaje y la calidad del papel reciclado. No es necesario utilizar productos químicos de lixiviación como el peróxido, porque las fibras no se amarillean ni se oscurecen.⁷¹

Flotación y lavado

Después del destintado, se requiere una combinación de etapas de flotación y lavado para eliminar las tintas. A pesar de los nuevos avances en el diseño de celdas de flotación, la utilización de nuevos tensioactivos y la mejor comprensión de la química del destintado, los rápidos avances en la impresión, el revestimiento y otras modificaciones del papel (nuevos materiales y nuevas tecnologías de impresión) dificultan el destintado. Este es un caso característico en el que la innovación para mejorar un aspecto de la funcionalidad y / o el costo, da como resultado un aumento de problemas para el potencial del ciclo cerrado o

Tab. 10 | Tecnologías avanzadas de clasificación basadas en sensores

POSTULADO	COMENTARIO
Sensor ultrasónico	Es la base del contacto. No apto para la industria.
Sensor de lignina	Solo se utiliza para separar los papeles de periódico de otras formas de papel y cartón. Rendimiento de los sensores de lignina seriamente afectado por los colores. Comercializado por MSS.
Sensor de brillo	Separe los papeles blancos que contengan blanqueadores ópticos, los papeles blancos sin blanqueadores ópticos y el resto.
Sensor de brillo	Separación de papel satinado de otros. Comercializado por MSS.
Sensor de rigidez	Separe el cartón de otros tipos de papel. El sensor no pudo distinguir entre una pila de papel de periódico y un solo cartón. Comercializado por MSS.
Sensor de color	Identifique los libros blancos midiendo la radiación de la superficie del papel. Comercializado por MSS, RedWave, Bollegraaf, Lubo.
Sensor de imagen visual (VIS)	Comercializado por TITec
Infrarrojo cercano (NIR)	Comercializado por TITec, MSS, RedWave, Bollegraaf, Lubo.
Infrarrojo medio (MIR)	Comercializado por Pellenc

Fuente: ^{64, 68}

el reciclaje de material modelos en cascada. Se necesita más esfuerzo para comprender el comportamiento de flotación de los nuevos tipos de papel usado.⁷¹ La química de flotación juega el papel más importante en la determinación de la eficiencia de eliminación de tinta. El uso cada vez mayor de nuevas fórmulas de tintas, como las tintas flexográficas a base de agua, las nuevas tintas a base de tóner, los tóners fusionados y las tintas curadas con UV, los tóners fusionados podrían afectar más negativamente los procesos de destintado existentes. Las tintas flexográficas a base de agua no pueden eliminarse eficazmente por flotación debido a su reducido tamaño de partícula, lo que podría provocar una pérdida del brillo de la pulpa. Alternativamente, se pueden eliminar lavando, pero esto requiere grandes volúmenes de agua. Las tintas nuevas a base de tóner y curadas con UV son más complejas de eliminar que las tintas convencionales. Los tóneres fundidos no pueden separarse mediante tamices convencionales, separación centrífuga (debido a la densidad similar al agua), y por encima de 150 µm son demasiado grandes para ser separados por flotación y además son resistentes al ambiente alcalino utilizado en las plantas de destintado convencionales.⁷² Las plantas de destintado convencionales han introducido dispersores o amasadoras para

ayudar al desprendimiento y reducción de tamaño de la tinta y otras partículas no fibrosas⁷¹, la eficacia de este tratamiento depende de la poca capacidad de dispersión de los contaminantes como las partículas adhesivas de etiquetas o cintas.⁷⁰ Las tintas curadas con UV son extremadamente difíciles de desprender de las fibras del papel, lo que da como resultado una pérdida inútil de fibra. El destintado por ultrasonido es una tecnología utilizada para reciclar papel impreso con nuevas formulaciones de tinta. Las modernas líneas de destintado de las plantas de reciclaje de papel funcionan con varios circuitos de destintado que implican múltiples etapas de dispersión.⁷²

Blanqueamiento

Además, para algunos tipos de papel, se requiere el blanqueo de la fibra para aumentar el brillo de la fibra mediante el uso de diferentes productos químicos blanqueadores como peróxido de hidrógeno, hidrosulfitos, ácido formamida sulfínico (FAS) o cloro menos ideal que se puede combinar con la materia orgánica que produce contaminantes tóxicos. El blanqueador con peróxido de hidrógeno generalmente se agrega para evitar el amarilleo de la pulpa que contiene madera, y / o en la entrada de dispersión y amasado y se realiza en presencia de NaOH, silicato de sodio

y en ocasiones agentes quelantes. Para una pasta de fibra secundaria casi libre de madera, se pueden utilizar los llamados productos químicos blanqueadores no convencionales, oxígeno y ozono.

El reciclaje de papel genera varias corrientes de desechos sólidos, incluidos lodos de tratamiento primario y secundario, lodos de destintado y rechazos gruesos y de tamices. La mayoría de estos desechos son generados por las etapas de pulpa y tratamiento de agua del proceso y comúnmente se depositan en vertederos. Los costes del vertido / eliminación de otros residuos son elevados en la mayor parte de Europa; por eso, para seguir siendo competitiva y convertirse en un sector industrial cada vez más sostenible, la industria del papel busca aprovechar el valor potencial de las corrientes de residuos producidas por el proceso de reciclaje de papel. Por ejemplo, el lodo de papel se utiliza como combustible en sistemas combinados de calor y energía para generar energía para el proceso de reciclaje de papel en varias fábricas de papel.

Revisión del mercado internacional

Producción y consumo de papel y cartón

Un resumen de la producción y el consumo de papel y cartón a nivel mundial se ilustra en las figuras a continuación, Tabla 11. La información proviene de CEPI, que proporciona datos titulares disponibles públicamente para la industria del papel y cartón en Europa. Asia es el mayor productor y consumidor de papel y cartón, y América del Norte y Europa también son los principales productores y consumidores de productos de papel y cartón. En particular, la producción de papel de China ha crecido considerablemente en los últimos años y, en algunas medidas, ha superado a los Estados Unidos como el mayor productor de productos de papel y cartón.¹³

Tendencias y realidades del mercado en papel y cartón "recuperados"

La recuperación y utilización de papel recuperado se ha incrementado en las últimas décadas en las economías desarrolladas, impulsada por requisitos y objetivos regulatorios, y mejoras paralelas en la recogida de papel y cartón de desecho de origen doméstico y comercial, estimada en⁵³

2013 en Europa en 47,5 Mt. Este crecimiento se ilustra en la Figura 5, que muestra el aumento en el uso de papel y cartón recuperados en Europa. Esta figura también ilustra el efecto de la crisis financiera mundial en 2008, con los niveles de comercio de papel y cartón recuperados cayendo drásticamente, antes de recuperarse, aunque no a sus niveles anteriores.

La mayor parte del papel y cartón recuperado se utiliza en la fabricación de embalajes y papel de periódico. Existe un mercado global en el comercio de materiales secundarios de papel y cartón reciclados. Basado en gran parte en datos obtenidos de la base de datos de UNComtrade utilizando la categoría 'Papel o cartón recuperado (desperdicios y desechos)' (UNComtrade Ref: 4707), el principal exportador de papel y cartón recuperado es Estados Unidos, que exportó casi 20 Mt en 2013. Otros exportadores importantes son Japón, Reino Unido, Países Bajos, Francia y Alemania (Figura 5). En particular, estas son todas las naciones con sistemas de recolección de papel y cartón bien establecidos para los esquemas de reciclaje.

Las exportaciones de papel y cartón recuperados han aumentado en general desde 2000 (Figura 5), y la cantidad de papel y cartón recuperados de los EE. UU. aumentó de 10 Mt en 2000 a cerca de 20 Mt en 2013. Esta tendencia refleja tanto la creciente oferta de papel y cartón recuperados de los sistemas de recogida de reciclaje como la demanda de este material de los principales importadores, principalmente China. Tenga en cuenta que la RAE de Hong Kong se informa como un exportador importante solo porque es un puesto de escala importante para la transferencia de papel y cartón recuperados a China continental, una situación similar a la chatarra de plástico en general.²⁶

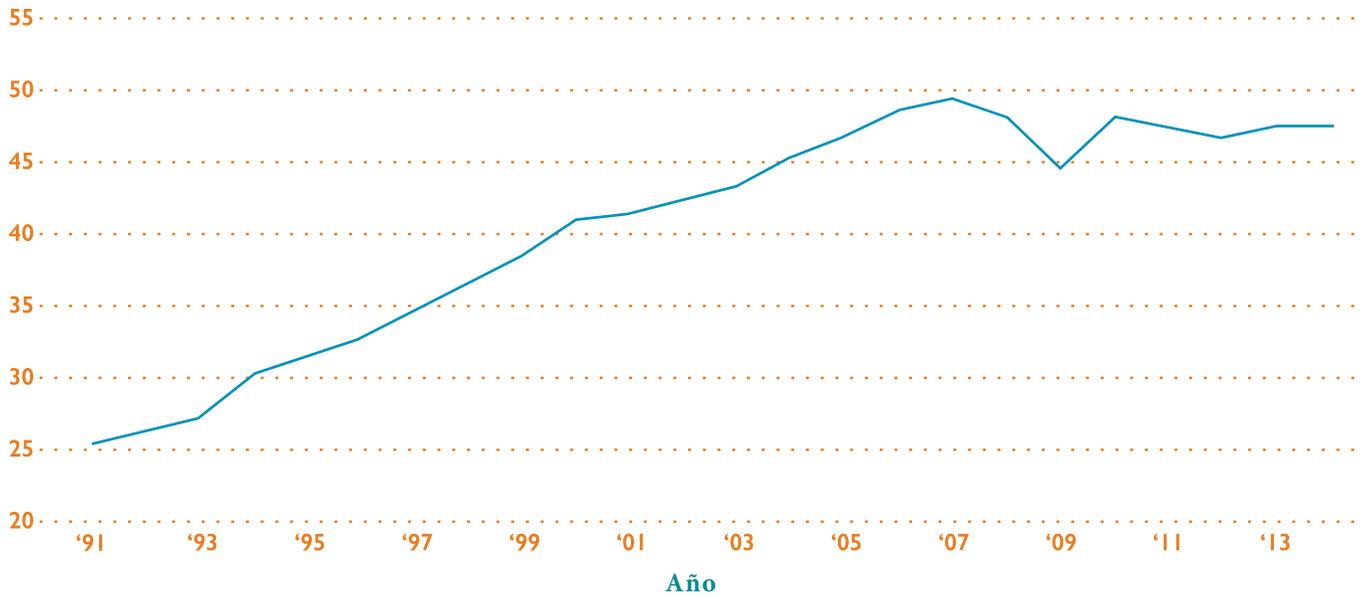
La cantidad total de papel y cartón recuperados comercializados a nivel transnacional se ha más que duplicado desde 2000. Aproximadamente 110 Mt de estos materiales se importaron en 2013 (Figura 6). Se espera que esta tendencia continúe, porque se puede anticipar que los principales mercados de importación aumentarán su demanda de papel y cartón reciclados.

Tab. 11 | Resumen de la producción y el consumo mundiales de papel y cartón

REGION	PRODUCCION (%)	CONSUMO (%)
Asia	44.7	46.1
Europa	26.7	24.2
Norte América	21.3	19.4
Latinoamérica	5.2	7.1
Resto del mundo	2.1	3.3

Fig 5 | Utilización de papel y cartón recuperados en Europa (1991-2014)

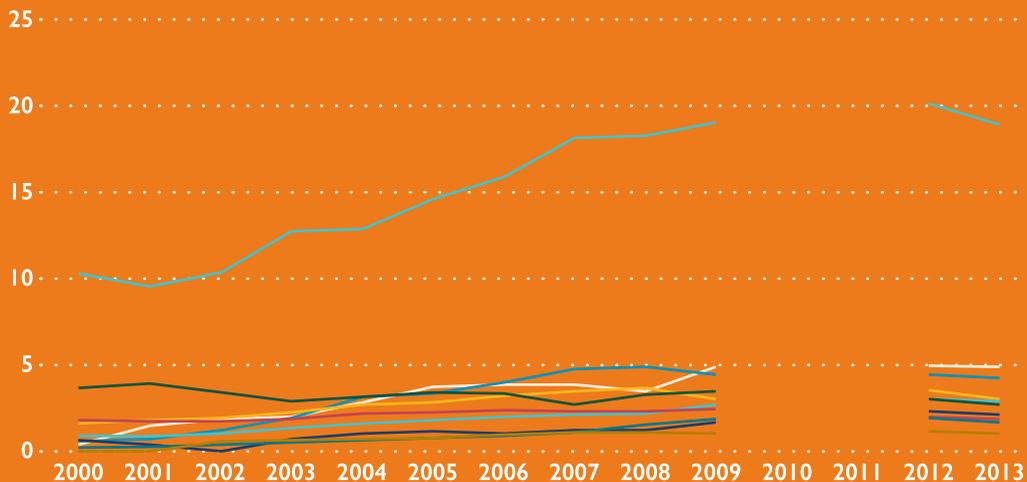
Millón de toneladas



Fuente: CEPI (2014)⁵³

Fig 6 | Tendencias en la exportación de papel y cartón recuperados (2000-2013)

Cantidad de papel y cartón recuperado exportado (millones de toneladas)



EE.UU.

Japón

Reino Unido

Países Bajos

Francia

Alemania

Canadá

Bélgica

Italia

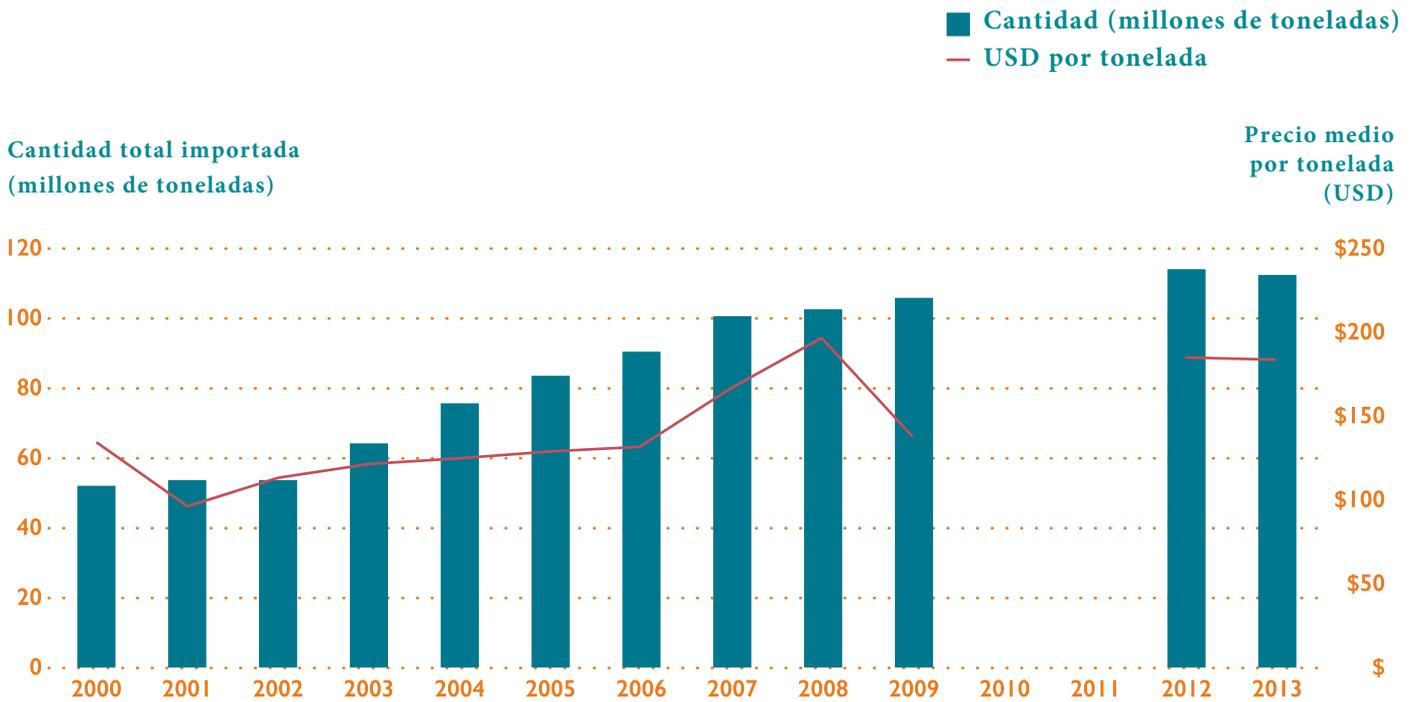
Australia

China, RAE de Hong Kong

No se dispone de datos para 2010 y 2011.

Fuente: UNComtrade (2014)²⁵

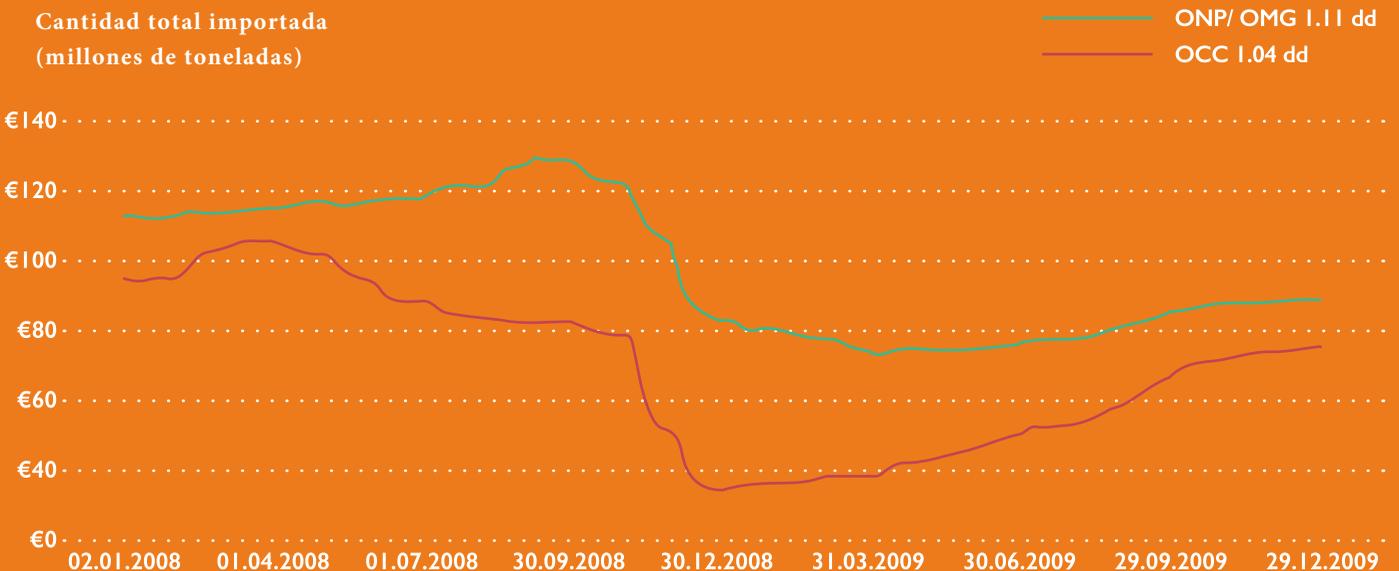
Fig. 7 | Tendencias de las cantidades importadas y del precio medio del papel y el cartón (2000-2013)



No se dispone de datos para 2010 y 2011.

Fuente: CEPI (2014)⁷³

Fig. 8 | Precios del papel recuperado Europa (2008-09)



Fuente: FOEX (2015)⁷⁴

China es el principal importador de papel y cartón recuperado, en particular de viejos envases de cartón ondulado, periódicos y revistas viejas y tipos de papel mixtos (cuadros 12 y 13). En 2013, China importó más de 29 Mt de material, más de siete veces la cantidad del siguiente mayor importador de papel y cartón recuperado (Alemania). Esto refleja el rápido aumento de China en la demanda de papel y cartón recuperado, que ha aumentado de 3,7 Mt en 2000 a casi diez veces esta cantidad en 2013 (Figura 7).

Otros exportadores importantes son Alemania, Holanda, India e Indonesia. Las cantidades de papel y cartón recuperados importados generalmente han aumentado entre estos principales exportadores. Alemania e India han mostrado el mayor crecimiento desde 2000. Estos dos países ahora importan tres veces más de estos materiales que en 2000. Se espera que la India, en particular, se convierta en un importador más dominante de papel y cartón recuperados a medida que aumente su demanda de productos de papel y cartón y la nación invierta en capacidad de reprocesamiento. Las importaciones de otros grandes importadores han registrado aumentos mucho más modestos y, en el caso de Indonesia, Corea del Sur y México, ligeros descensos.

En general, el precio medio de los materiales de papel y cartón recuperados ha aumentado desde el cambio de milenio. Sin embargo, el precio bajó significativamente después de la recesión en 2008 y aún no se ha recuperado a su nivel anterior (ver Figura 8). Esta tendencia también se refleja en otros conjuntos de datos y ha sido particularmente marcada en Europa. El efecto de la recesión de 2008 se puede ver en la tendencia del reciclaje, particularmente entre los importadores europeos (Alemania, Holanda y España), pero también en Corea del Sur. Las cantidades de materiales importados cayeron drásticamente y luego se recuperaron nuevamente en 2010.

Sin embargo, es importante señalar que China, en particular, está tratando de ser más autosuficiente en la producción de estos materiales. Los datos de UNComtrade (Figura 7) y la información de la Oficina de Recicladores Internacionales (BIR)⁷⁵ sugieren que la importación de fibra recuperada de China ha comenzado a disminuir.

Por lo tanto, aunque es probable que continúe aumentando la demanda general de papeles y cartones recuperados de buena calidad (por ejemplo, papeles de escritura y de impresión sin madera de alta calidad), es probable que se reduzca la demanda de calidades de baja calidad, como papeles mixtos. En resumen, es probable que China se vuelva más selectiva en sus importaciones. Es probable que esto impulse el aumento de los estándares de calidad para los principales exportadores de EE. UU., Europa y Japón.

Tab. 12 | Resumen de las importaciones chinas de papel y cartón por país de origen (2010)

PAÍS DE ORIGEN	PROPORCIÓN (%)
Estados Unidos	42
Japón	14
Reino Unido	11
Países Bajos	7
Otros EU	12
Otros	14

Fuente: WRAP, basado en las estadísticas de aduanas, empresas y comercio de China (2010)¹³

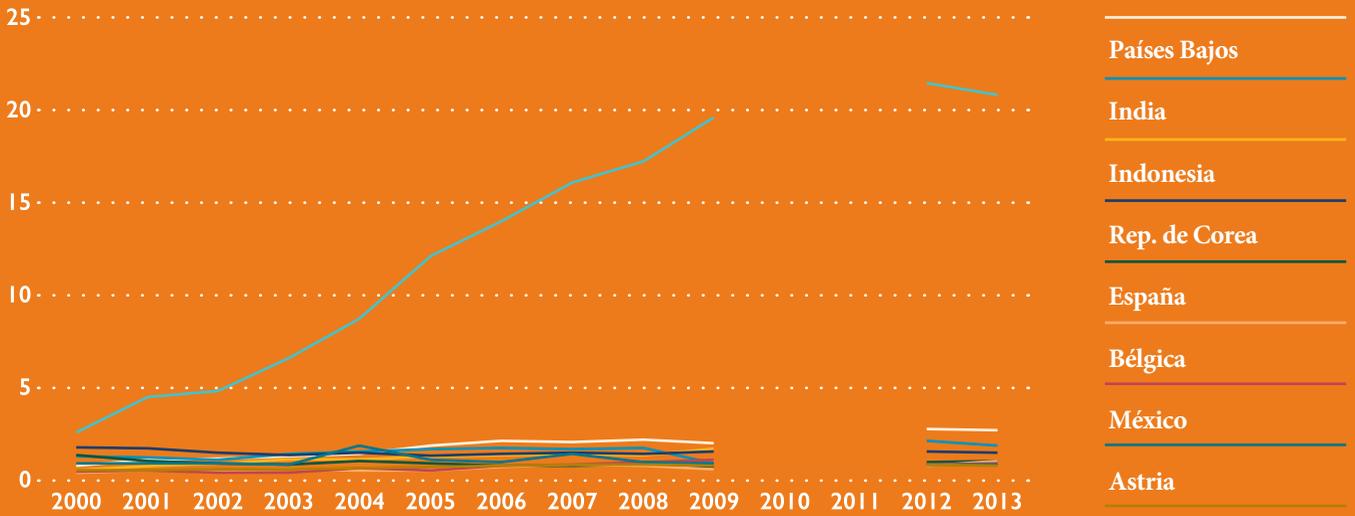
Tab. 13 | Resumen de las importaciones chinas de papel y cartón por grado (2010)

GRADO	PROPORCIÓN (%)
Contenedores viejos corruptos	58
Revistas y periódicos viejos	24
Grados Mixtos	16
Grados altos	2

Fuente: WRAP, basado en las estadísticas de aduanas, empresas y comercio de China (2010)¹³

Fig. 9 | Tendencias de las importaciones de papel y cartón recuperados (2000-2013)

Cantidad de papel y cartón recuperado exportado (millones de toneladas)



No se dispone de datos para 2010 y 2011.

Fuente: UNComtrade (2015)²⁵



Barreras y oportunidades para el reciclaje sustentable de papel y cartón

Barreras y oportunidades para el reciclaje sustentable de papel y cartón

Las fibras de papel y cartón recuperados son materias primas clave en el sector del papel y cartón. En Europa, por ejemplo, más de la mitad de la pulpa utilizada en la fabricación de papel y cartón proviene de fuentes recuperadas. Sin embargo, el papel y cartón recuperados a menudo se asocian con contaminantes y grados mixtos, lo que limita las aplicaciones para las que se puede utilizar. La eliminación de contaminantes del papel y cartón recuperados para producir fibra secundaria requiere múltiples etapas de limpieza, lavado, tamizado y destintado, que no son necesarias para la fibra primaria producida directamente a partir de la madera. La Tabla 14 resume las barreras técnicas actuales que enfrenta la industria del reciclaje de papel y cartón.

Barreras ambientales para el reciclaje sustentable de papel y cartón

Los residuos de papel pueden contener potencialmente una gran cantidad de sustancias químicas, muchas de ellas asociadas con la industria de la impresión. Según una investigación publicada recientemente,⁷⁶ la mitad de estas sustancias se clasifican como persistentes y potencialmente bioacumulables, y alrededor de un tercio de ellas se identifican como críticas para su eliminación durante el proceso de reciclaje. Se debe prestar especial atención en el caso de aplicaciones de envasado de alimentos, debido a la posible migración de estas sustancias a los alimentos. Es necesario un estudio y una cuantificación más exhaustivos de estas sustancias potencialmente peligrosas en los residuos de papel. La Tabla 15 resume algunas de las barreras ambientales actuales que enfrenta la industria del reciclaje de papel y cartón.

Tab. 14 | **Barreras técnicas para el reciclado sostenible de papel y cartón**

BARRERA	COMENTARIO
Límite de ciclos de reciclaje	<p>Una fibra no se puede reciclar indefinidamente; el límite se estima entre cinco y siete veces, porque las fibras se clasifican cada vez que se reciclan. El desgaste y la degradación de las fibras durante el reciclaje reducen su resistencia y capacidad de unión, lo que provoca la degradación de las propiedades del papel elaborado a partir de fibras recicladas, lo que limita la cantidad de fibras recicladas agregadas⁶¹ y cada vez que se recicla un papel se deben agregar fibras vírgenes.</p> <p>La proporción de papel no recolectable y no reciclable se estima, por razones técnicas, en el 19% del consumo total de papel y cartón.⁵⁵ En consecuencia, la tasa máxima teórica de recogida para reciclado sería del 80% (o prácticamente del 60%) en lugar del 100%. Cuanto más nos acerquemos a este umbral, menos beneficios se podrán lograr. Muchos países ya han alcanzado este umbral.</p>
Contaminación cruzada y mezclas de tipos de fibras.	<p>Haga que sea difícil de manipular, clasifique y blanquee eficazmente los residuos mezclados.⁶³</p>
Grados de papel	<p>Falta de métricas para grados de papel o tipos de fibra.⁶³</p>
Tecnologías de clasificación	<p>Falta de métodos para monitorear y clasificar los tipos de papel de manera eficiente.⁶³</p>
Percepción de la calidad	<p>Percibido como más bajo que los materiales vírgenes.⁶³ Una calidad tan baja de papel recuperado podría tener un fuerte impacto negativo en el reciclaje sostenible en la producción de diferentes grados de papel: El rendimiento del procesamiento disminuye y el volumen de residuos sólidos aumenta, lo que genera impactos económicos y ambientales negativos.</p>
Tecnología de reciclaje	<p>No lo suficientemente avanzado para lograr una alta eficiencia energética, bajos costos operativos y una mayor calidad de fibra.</p>
Mayor uso de sistemas de recolección combinados	<p>Los sistemas de recolección combinados dan como resultado una calidad mucho menor de chatarra recuperada en comparación con los selectivos. Esta es una de las principales amenazas para ampliar los límites actuales del reciclaje de papel y limitar sustancialmente sus mercados finales.⁶²</p> <p>Mayores tasas de recuperación a menor costo, pero material de baja calidad, que no se puede aprovechar al máximo para el reciclaje de papel gráfico, donde reside el principal potencial para aumentar el uso de papel recuperado en la fabricación de papel.⁶²</p>
Variabilidad en los estándares de calidad del papel recuperado	<p>Las especificaciones de calidad varían de un país a otro; Los criterios también pueden variar considerablemente dentro de un país según el usuario final (por ejemplo, las fábricas de papel). El programa de clasificación EN 643 se conoce y se utiliza en muchos casos, pero a menudo las fábricas de papel chinas definen la calidad y establecen niveles de contaminación aceptable, sin tener en cuenta la EN 643.⁵⁸</p>
Contaminación	<p>Mayor contaminación de los tipos de papel recuperados, como resultado de la clasificación de tipos de papel recuperados mezclados de la recogida de residuos domésticos. Gran variedad de contaminantes (material inutilizable y componentes distintos del papel) que vienen con el papel recuperado que dificultan el proceso de reciclaje y limitan los usos de las fibras secundarias.⁶²</p>
Nuevas tintas y calidades de papel	<p>Como la impresión flexográfica de periódicos, la impresión digital con tóners líquidos y la impresión de inyección de tinta, y tintas y barnices curados con UV, que pueden necesitar técnicas de eliminación no convencionales.^{62,65}</p>

Tab. 15 | Barreras ambientales para el reciclaje sustentable de papel y cartón

BARRERA	COMENTARIO
SUSTANCIAS CRÍICAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Aceites minerales 	<p>Fuente principal: las tintas de impresión (disolventes en particular) son la principal fuente de aceites minerales en el papel, principalmente de periódicos). Parafinas, naftenos e hidrocarburos aromáticos del proceso de refinación de petróleo crudo. Peligrosidad potencial: un número significativo de ellos pueden clasificarse como persistentes (problema de bioacumulación), carconogéneos y algunos también son sustancias mutagénicas. El proceso de destintado no los elimina de manera eficiente, pero el secado del papel elimina alrededor del 30%.⁷⁷ Los no eliminados en procesos a base de agua durante el reciclaje (sustancias hidrófobas) pueden reintroducirse en productos reciclados. Difícil de identificar y cuantificar debido a la gran diversidad de ellos</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ftalatos 	<p>Principalmente presente en: cartón, papel de desecho de oficinas, papel especial y papeles que contienen cantidades relativamente altas de cola. Fuente principal: los adhesivos podrían ser la principal fuente de ftalatos. Peligrosidad potencial: Algunos de ellos se clasifican como persistentes y tienen tendencia a acumularse.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Fenoles 	<p>El bisfenol A presenta los rangos de concentración más altos utilizados como biocida en la producción de papel, preparación de tintas. Fuente principal: sectores de impresión y papel. Posible peligrosidad: Posible propagación de BFA durante el reciclaje. Muestran alta afinidad por los sólidos y son persistentes. El proceso de destintado puede eliminar el 50% de BFA, pero todavía da como resultado una alta concentración de BFA en el cartón producido.^{76,78}</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Parabenos 	<p>Presente principalmente en: conservantes y biocidas. Peligrosidad potencial: productos químicos disruptores endocrinos que pueden eliminarse en el extremo húmedo de la producción de papel. Solo los butil y propil parabenos muestran una afinidad parcial por los sólidos, lo que puede constituir un problema en el reciclaje de papel.</p>
SUSTANCIAS CRITICAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Inorgánicos 	<p>Presente principalmente en: Diarios y revistas. Fuente principal: pigmentos y recubrimientos. Peligrosidad potencial: La eliminación en el proceso de reciclaje puede variar. El Pb se puede observar en papel reciclado. Sn y Sb pueden aumentar durante el reciclaje de papel, pero no representan riesgos para la salud, ni siquiera para el envasado de alimentos.</p>
OTRAS SUSTANCIAS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Los bifenilos policlorados son contaminantes orgánicos persistentes que ya no se utilizan en la producción de papel. • Naftaleno de diisopropilo en papel de oficina. • Los compuestos organoclorados como la dioxina, los furanos (presentes en los aditivos químicos utilizados para la producción de papel y la conversión de papel se generan durante el blanqueo químico de la pulpa con cloro elemental y compuestos de cloro (dióxido de cloro, hipoclorito y cloración de agua dulce) especialmente en economías emergentes.
EMISIONES	
<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 	<p>La producción de pulpa de papel recuperada utiliza menos energía (10-13 GJ) por tonelada que la producción de pulpa virgen, dependiendo de si el papel recuperado está destintado y si se reemplaza la pulpa mecánica o química. Aunque consume menos energía, la producción de pulpa de papel recuperada es generalmente más intensiva en CO₂, ya que la producción de pulpa química, utilizando biomasa como energía, es neutra en CO₂. En muchos casos, la energía utilizada para la producción de pulpa de papel recuperada proviene de combustibles fósiles. Como resultado, niveles más altos de utilización de papel recuperado pueden reducir significativamente la intensidad energética en el sector, pero a costa de mayores emisiones de CO₂.⁷⁹</p>



Barreras económicas para el reciclaje sustentable de papel y cartón

La fibra recuperada tiene un costo competitivo con la fibra de madera y existe una demanda de papel recuperado y un buen sistema de recolección. Sin embargo, los contaminantes y los tipos de papel mixtos limitan los mercados disponibles y reducen el valor de las fibras recuperadas. La Tabla 16 resume las barreras financieras que enfrenta la industria del reciclaje de papel y cartón.

Tab. 16 | Barreras económicas para el reciclado sustentable de papel y cartón

BARRERA	COMENTARIO
Sistemas de recogida combinados	Mayores costos de procesamiento (clasificación) debido a los mayores niveles de contaminación de los productos ⁶² y al papel recuperado de baja calidad.
Coste de transporte	Los materiales no se clasifican adecuadamente, lo que genera mayores costos de transporte. ⁶³
Clasificación de costos	Las operaciones de clasificación manual son muy intensivas en mano de obra y, en consecuencia, su coste es elevado. Sin embargo, la inversión en sistemas automáticos es alta. ⁶²
Costos de reciclaje	La compatibilidad de los polímeros utilizados y los plásticos en capas en los envases puede crear externalidades de costes para el reciclador en la etapa de clasificación. ³¹ Teniendo en cuenta que se consideran todos los costos a lo largo de la cadena de reciclaje del papel, los sistemas de recolección combinados no podrían ser el método de recolección más económico como se creía anteriormente. ⁶² Es un desafío garantizar energía y agua a bajo precio para rentabilizar el proceso de reciclaje.
Calidad de fibras recicladas	Lo cual depende de la cantidad de componentes indeseables, el estado del arte de las tecnologías de reciclaje, el nivel de impurezas aceptadas en la pulpa terminada y los residuos producidos durante el proceso de reciclaje. ⁶³

Oportunidades para aumentar el reciclaje sustentable de papel y cartón

El mercado de papel recuperado está bien establecido con importantes flujos comerciales globales. En la Tabla 17 se presenta un resumen de las oportunidades clave para aumentar el reciclaje de materiales.



Tab. 17 | Oportunidades para aumentar la tasa de reciclaje de papel y cartón

ESTRATEGIA

Desarrollo técnico de procesos de reciclaje

OPORTUNIDAD

Simplificación de los procesos de flujo mediante el desarrollo de nuevas tecnologías con unidades únicas que brindan mayores rendimientos y menor uso de energía y agua, con menores costos de capital.⁶³

Optimización de los métodos de recolección promoviendo sistemas de recolección separados en origen.⁶²

Mejora de las técnicas de clasificación automatizada y el control de calidad⁶⁵ en línea que pueden reducir eficazmente los costos⁶² de clasificación, así como el consumo de energía y el impacto ambiental de las operaciones de clasificación.

Desarrollo de nuevas técnicas de muestreo y seguimiento y una mejor caracterización de fibras.⁶³

Simplifique los procesos de destintado sin deteriorar la calidad del DIP y busque nuevas formas de mejorar el desprendimiento de tinta en la pulpa y busque métodos de pulpa que puedan procesar de manera eficiente papeles impresos recuperados con varias tintas.

Mejorando la reciclabilidad del material

Limitar el contenido de sustancias peligrosas.

Desarrollo de nuevas tintas fácilmente eliminables por las tecnologías actuales. Más innovaciones técnicas y mejoras en las tecnologías de producción de papel: tecnologías de impresión para producir impresiones destintables, desarrollo de adhesivos ecológicos fáciles de quitar en el proceso lo antes posible.⁶²

Diseño para reciclaje

Fin del desperdicio (EoW)

La Comisión Europea está estableciendo criterios de finalización de residuos para una serie de materiales reciclables específicos, incluidos los residuos de papel (criterios de la EoW para residuos de papel: propuestas técnicas) y plásticos (criterios de la EoW para la conversión de residuos de plástico) que definen los requisitos técnicos que deben cumplir estos flujos de residuos para dejar de ser residuos en la UE.

Referencias

1. Villanueva, A.; Peter, E. Criterios de fin de la basura para el papel de desecho: Propuestas técnicas; 2011.
2. Villanueva, A.; Peter, E. Criterios de fin de la basura para los desechos de plástico para la conversión; 2014.
3. Hechos sobre el reciclaje de ERPC; Consejo Europeo de Papel Recuperado 2015.
4. PlasticsEurope Plastics the Facts 2014/2015: Un análisis de la producción, la demanda y los datos sobre residuos de plásticos en Europa; 2014.
5. PlasticsEurope El reciclaje y la recuperación de los residuos de poliolefinas en Europa; 2011.
6. Delgado, C.; Barrietabeña, L.; Salas, O. Evaluación de las ventajas e inconvenientes ambientales de los procesos de recuperación de polímeros emergentes; Comisión Europea; 2007.
7. Hestin, M.; Faninger, T.; Milios, L. Aumento de los objetivos de reciclaje de plásticos de la UE: evaluación del impacto ambiental, económico y social; Deloitte; 2015.
8. Informe final de la UE: Criterios de finalización de los residuos plásticos para la conversión; Comisión Europea JCR 2013.
9. WasteWatch; Recoup Plastics in the UK economy- a guide to polymer use and the opportunities for recycling; 2003.
10. Burke, H.; Freegard, K.; Morrish, L.; Morton, R. UK market composition data of polypropylene packaging; Axion Consulting; 2012.
11. Kanari, N.; Pineau, J. L.; Shallari, S. Reciclaje de vehículos al final de su vida útil en la Unión Europea; 2003.
12. Stenvall, E.; Tostar, S.; Boldizar, A.; Capataz, M. Composición de plásticos WEEE; Chalmers Universidad; Göteborg; 2011.
13. WRAP Los mercados chinos de papel y plásticos recuperados: una actualización; 2011.
14. Freegard, K.; Espiga; Morton, R. Reino Unido Residuos de plásticos: una revisión de los suministros para el reciclaje, la demanda del mercado global, las tendencias futuras y los riesgos asociados; Programa de acción sobre residuos y recursos; 2006.
15. Achilias, D. S.; Andriotis, L.; Koutsidis, I. A.; Louka, D. C. A.; Nianias, N. P.; Siafaka, P.; Tsagkalias, I.; Tsintzou, G., Avances recientes en el reciclaje químico de polímeros (PP, PS, LDPE, HDPE, PVC, PC, Nylon, PMMA). En Reciclaje de materiales - Tendencias y perspectivas, Achilias, D. S., Ed. InTech; 2012; págs. 1-64.
16. Velis, C. A.; Longhurst, P. J.; Drew, G. H.; Smith, R.; Pollard, S. J. T., Producción y aseguramiento de la calidad de combustibles sólidos recuperados mediante el tratamiento mecánico-biológico (MBT) de residuos: una evaluación integral. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 2010, 40, (12), 979-1105.
17. EcoSphere Un mercado europeo de plásticos y un estudio de tendencias: análisis del ciclo de vida desde material vir-gin hasta escenarios de residuos posconsumo; Diciembre de 2014, 2014; pág 33.
18. Dvorak, R.; Kosior, E.; Moody, L. Desarrollo de un proceso de reciclaje de calidad alimentaria para polipropileno posconsumo; Nextek Limited.: 2011.
19. Dvorak, R.; R., E.; Kosior, E. Reciclaje de plásticos mixtos a escala comercial; Nextek Ltd; 2009.
20. Serranti, S.; Luciani, V.; Bonifazi, G.; Hu, B.; Rem, P. C., Un innovador proceso de reciclaje para obtener polietileno puro y polipropileno a partir de los residuos domésticos. Gestión de residuos 2015, 35, 12-20.
21. Di Maio, F. Tecnologías de sensores de ultrasonido y clasificación magnética para la producción de poliolefinas secundarias de alta pureza a partir de desechos; Universidad Tecnológica de Delft; 2014.
22. IHS, World Anaysis - Polipropileno. 2015. <https://www.ihs.com/products/world-petro-chemical-analysis-propylene.html>
23. Moolji, S., Escenario petroquímico en todos los continentes: ¿Qué está sucediendo en el mundo del polipropileno? 2015.
24. Ma, P. China Perspectiva de la industria de poliolefinas: polietileno y polipropileno; Consultoría CNCIC; 2013.
25. UNComtrade, 2015.
26. Velis, C. A. Mercados mundiales de reciclaje: desechos plásticos: una historia para un jugador: China. Informe preparado por FUELogy y formateado por D-waste en nombre de International Solid Waste Association - Globalisation and Waste Management Task Force; Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA); Viena, Austria, septiembre de 2014, 2014; pág 66.
27. Zhang, B., Una investigación sobre el valor económico ambiental de los plásticos reciclados. En ChinaReplas 2012 (primavera); Shanghai, 2012.
28. PlasticsNews Precios históricos de las resinas - Reciclaje de plásticos - PP - Escamas industriales <http://www.plasticsnews.com/res-in/recycled-plastics/historical-pricing?grade=1340801> Vol2
29. Plasticker, Market Report Plastics - Enero de 2015. 2015.
30. Residuos plásticos de la UE en el medio ambiente; Comisión Europea; 2011.
31. DEFRA Recicla: Calidad, Mercados, Contenido y Barreras. Análisis resumido de la investigación hasta la fecha - WR1211; Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales; 2011.
32. Hopewell, J.; Dvorak, R.; Kosior, E., Reciclaje de plásticos: desafíos y oportunidades. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2009, 364, (1526), 2115-2126.
33. Al-Salem, S. M.; Lettieri, P.; Baeyens, J., Rutas de reciclaje y recuperación de residuos sólidos plásticos (PSW): una revisión. Gestión de residuos 2009, 29, (10), 2625-2643.
34. Pressley, P. N.; Levis, J. W.; Damgaard, A.; Barlaz, M. A.; DeCarolis, J. F., Análisis de instalaciones de recuperación de materiales para su uso en la evaluación del ciclo de vida. Gestión de residuos 2015, 35, 307-317.
35. Orientación de DEFRA sobre las mejores técnicas disponibles de tratamiento, recuperación y reciclaje (BATRR) y tratamiento de residuos de equipos eléctricos y electrónicos (WEEE); Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales; 2006

36. Merrington, A., Manual de ingeniería de plásticos aplicados: Procesamiento y materiales. El-servier: Estados Unidos de América, 2011.
37. Curry, D. ; Hilder, R. ; Morrish, L. ; Morton, R. ; Myles, N. ; Newman, C. Estudio de alcance sobre el reciclaje de polipropileno de calidad alimentaria Axion Consulting: 2010.
38. Tolinski, M., Aditivos para poliolefinas. El-servier: 2009.
39. Él, Z. ; Li, G. ; Chen, J. ; Huang, Y. ; An, T. ; C., Z., Características de contaminación y evaluación de riesgos para la salud de compuestos orgánicos volátiles emitidos por diferentes talleres de reciclaje de residuos sólidos plásticos. Env. Internacional 2015, 77, 85-94.
40. Lazarevic, D. ; Aoustin, E. ; Buclet, N. ; Brandt, N., Gestión de residuos plásticos en el contexto de una sociedad europea del reciclaje: comparación de resultados e incertidumbres en una perspectiva de ciclo de vida. Recursos, conservación y reciclaje 2010, 55, (2), 246-259.
41. Astrup, T. ; Fruergaard, T. ; Christensen, T. H., Reciclaje de plástico: contabilidad de los gases de efecto invernadero y las contribuciones al calentamiento global. Gestión e investigación de residuos 2009, 27, (8), 763-772.
42. Rajendran, S. ; Hodzic, A. ; Scelsi, L. ; Hayes, S. ; Soutis, C. ; AlMa'adeed, M. ; Kahraman, R., Reciclaje de plásticos: conocimientos sobre los métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida. Plásticos, caucho y compuestos 2013, 42, (1), 1-10.
43. Velis, C. A., Economía circular y cadenas globales de suministro de material secundario. Gestión e investigación de residuos 2015, 33, (5), 389-391.
44. Velis, C. A. ; Brunner, P. H., Reciclaje y eficiencia de recursos: es hora de pasar de la cantidad a la calidad. Gestión de residuos e investigación 2013, 31, (6), 539-540.
45. Kutz, M., Manual de ingeniería de plásticos aplicados. Elsevier: 2011.
46. PlasticsEurope, Plastics - The Facts 2011 Un análisis de la producción, demanda y recuperación de plásticos europeos para 2010. En Plas-ticsEurope: 2011.
47. Foster, S. Opciones de gestión de residuos de plásticos mixtos domésticos; Recuperación: 2008.
48. Consultic Química, plásticos y medio ambiente; Consultic: 2015.
49. Recolección y clasificación WRAP de envases de plástico rígidos domésticos; Programa de acción sobre residuos y recursos: 2012.
50. Dvorak, R. ; E., K. ; Moody, L. Desarrollo de envases de plástico negro detectables por NIR Nextek Limited: 2011.
51. Kosior, E. ; Davies, K. ; Kay, M. ; Mitchell, J. ; Ahmad, R. ; Silver, J. Optimización del uso de tintas legibles por máquina para la clasificación de envases de alimentos; NEXTEK Limited: 2014.
52. East, P. Envases de plástico: reciclabilidad por diseño; Recuperar 2015.
53. CEPI, Estadísticas preliminares. 2014.
54. Reciclaje CEPI. <http://www.cepi.org/top-ics/recycling> (15 de junio de 2015),
55. CEPI Resumen del estudio sobre productos de papel no recolectables y no reciclables; Confederación de Industrias Papeleras Europeas: 2003.
56. Directrices de la CEPI para el abastecimiento responsable y el suministro de papel recuperado; Confederación Europea de la Industria del Papel: 2006.
57. IEA Seguimiento del progreso de la energía limpia; Agencia Internacional de la Energía 2012.
58. Pöyry Management Consulting Una evaluación de la cadena de suministro de papel recuperado en Irlanda; 2011.
59. Höke, U. ; Sa., S., Fibras recicladas y destintado. 2010; Vol. 7.
60. Marsidi, M. ; Westenbroek, A. ; Ring-man-Beck, J. Valor máximo del papel para reciclar: Hacia una fábrica de papel multiproducto; Kenniscentrum Papier en Karton (KCPK), Confederación de Industrias Papeleras Europeas (CEPI); Bruselas 2011.
61. Letcher, M. ; Vallero, D., Residuos: un manual para la gestión. 2011.
62. Blanco, A. ; Miranda, R. ; Monte, M. C., Ampliación de los límites del reciclaje de papel: mejoras a lo largo de la cadena de valor del papel. Forest Systems 2013, 22, (3), 471-483.
63. Bajpai, P., Reciclaje y destintado de papel recuperado. Primera edición ed. ; Elsevier: Oxford, 2014; p 55-83.
64. Rahman, M. O. ; Hannan, M. A. ; Scavino, E. ; Hussain, A. ; Basri, H., Un método de identificación de calidad de papel eficiente para la clasificación automática de papel de desecho reciclable. Revista europea de investigación científica 2009, 25, (1), 96-103.
65. Bobu, E. ; Iosip, A. ; Ciolacu, F., Beneficios potenciales de la clasificación de papel recuperado mediante tecnología avanzada. Química y tecnología de celulosa 2010, 44, 461-471.
66. Wagner J; Franke T; Schabel S, Clasificación automática de papel recuperado: soluciones técnicas y sus limitaciones. Prog Pap Recycl 2006, 16, 13-23.
67. Rehecho Escocia, C. E. C. a. G. C. U. Caso comercial inicial para la utilización de la tecnología de clasificación de papel óptico automatizado; 2005.
68. Rahman, M. O. ; Hussain, A. ; Basri, H., Una revisión crítica sobre las técnicas de clasificación de papel usado. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental 2013, 11, (2), 551-564.
69. ERPC Evaluación de la reciclabilidad de productos impresos; Consejo Europeo de Papel Recuperado: 2011.
70. Stawicki, B. ; Leer, B. COST Action E48: El futuro del reciclaje de papel en Europa: Oportunidades y limitaciones; Bury (Gran Manchester), 2010; pág 210.
71. Jiang, C. ; Ma, J., Destintado de papel usado: flotación. En Enciclopedia de ciencia de la separación, Wilson, I. D., Ed. Prensa académica: Oxford, 2000; págs. 2537-2544.
72. Kemppainen, K. Towards simplified Deinking systems- A study of the effects of ageing, Pre-wetting and alternative pulp-ing Strategy on ink behaviour in pulping. <http://herkules.oulu.fi/isbn9789526203812/> isbn9789526203812.pdf
73. CEPI, Key statistics European Pulp and Paper Industry. 2013.
74. FOEX, PIX Recovered Paper Indexes Europe. 2015.
75. Informe anual de BIR 2014; Oficina de Reciclaje Internacional: 2015.
76. Pivnenko, K. ; Eriksson, E. ; Astrup, T. F., Residuos de papel para reciclaje: descripción general e identificación de sustancias potencialmente críticas. Waste Management 2015, doi: 10.1016 / j. wasman.2015.02.028 ..
77. Biedermann, M. ; Uematsu, Y. ; Grob, K., Contenido de aceite mineral en papel y cartón reciclado a cartón para envasado de alimentos. Packag. Technol. Sci., 2011, 24, 61-73.
78. BMEL Ausmaß der Migration unerwünschter Stoffe aus Verpackungsmaterialien aus Altpapier en Lebensmitteln; Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección del Consumidor de Alemania: 2012.
79. Transiciones de tecnología de IEA Energy para la industria; Agencia Internacional de Energía: 2009.

Miembros del grupo de trabajo de la ISWA sobre la gestión de los recursos

Björn Appelqvist
Presidente
Ciudad de Copenhague, Dinamarca

Ana Loureiro
EGF, Portugal
Andreas Bartl
Universidad Tecnológica de Viena, Austria

Bettina Kamuk
Rambøll, Dinamarca

Costas Velis
Universidad de Leeds, Reino Unido

Gary Crawford
Veolia, Francia

Jane Gilbert
Carbon Clarity, Reino Unido

Martin Brocklehurst
La Institución Colegiada de
Gestión de desechos, Reino Unido

Kata Tisza
ISWA General Secretaria

Preparado por el Grupo de Tareas de la ISWA
sobre la gestión de los recursos con el apoyo
de:



UNIVERSITY OF LEEDS

Proyecto financiado por el
NERC, el ESRC y el DEFRA:
Optimización del Valor
Complejo para la Recuperación
de Recursos - CVORR



Asociación Internacional de Residuos Sólidos
Auerspergstrasse 15, Top 41 1080 VIENA - AUSTRIA
Teléfono +43 (1) 253 6001 Fax +43 (1) 253 6001 99
www.iswa.orgiswa@iswa.org