



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.

**Programa de formación ESPECIALISTA EN ECONOMÍA CIRCULAR
DEL EMBALAJE PLÁSTICO: módulos**

- Ecodiseño y procesos de fabricación novedosos
- Nuevos materiales y biomateriales
- Compromiso ciudadano y del consumidor
- **Gestión y valorización de residuos**



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.
This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.





PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.

Gestión y valorización de residuos

- Logística y Clasificación
- Sistemas de reciclaje y modelos de negocio novedosos para la segunda vida de residuos
- **Aspectos económicos, ambientales y legislativos de los residuos plásticos**



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.
This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.





PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.

Sistemas de Reciclaje y nuevos modelos de negocio para la segunda vida de los residuos

- **Análisis económico del manejo de residuos plásticos**
- **Análisis ambiental de la gestión de los residuos plásticos**
- **Estrategia del plástico de la Unión Europea**



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.
This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.





Impactos económicos

Costes de recuperación

La recuperación de los residuos plásticos también está muy influenciada por los costes de recogida, que incluyen la logística (transporte) y la clasificación (mano de obra y equipos de clasificación).

Los residuos plásticos con transporte de baja densidad y equipos automatizados para la clasificación no son económicos.

Los costes de valorización de los residuos plásticos son muy variables y dependen de la estructura del programa de reciclado y las distancias entre las empresas de tratamiento de residuos.

Impactos económicos

Costes de recuperación

Estudio con sede en Alemania

	Costes de Recogida	Costes de Separación
Incineración	300-450 marcos alemanes/tonelada	230-300 marcos alemanes/tonelada
Gasificación/pirólisis	900 marcos alemanes/tonelada	
Vertedero	375 marcos alemanes/tonelada	



Impactos económicos

Costos de recuperación

Estudio de la UE para botellas de PET



	Recogida		Clasificación	TOTAL
	Recogida en la acera	Esquema contenedores de entrega		
Reciclaje	255-305 €/tonelada	196-242 €/tonelada	474 €/tonelada	508-618 €/tonelada*
Incineración				326-392 €/tonelada
Vertedero				368-434 €/tonelada

*incluye los ingresos del material reprocesado a 540€/tonelada



Impactos económicos

Costes de recuperación

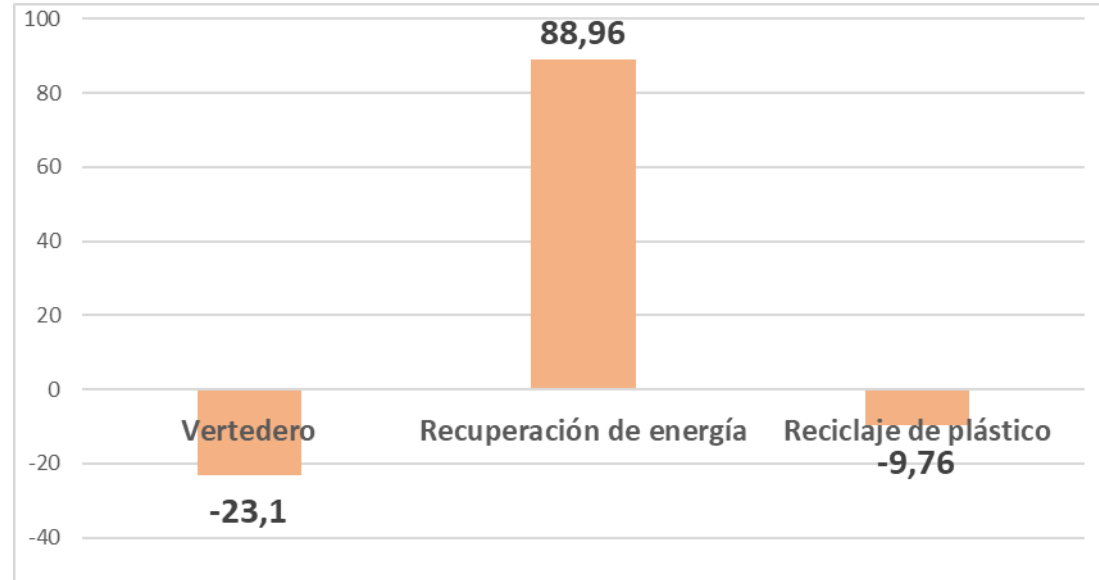


Figura –Rentabilidad de reciclar 1 t de plástico para tres procedimientos diferentes de manejo de residuos

- Incineración: El calor y electricidad son comercializados. Es el único método rentable. Los números dependen del tamaño y la capacidad anual de las instalaciones. Cuanto más grande sea la instalación, menores serán los costes y más alta la ganancia.
- La rentabilidad del reciclaje de plástico depende de dos factores, en los que la fábrica no puede influir: el precio del petróleo y la tasa de reciclaje de plástico de los consumidores.

Impactos económicos

Costes de recuperación

Para maximizar el valor económico de los reciclados de desechos plásticos, el flujo de desechos plásticos debe clasificarse por tipo de resina y color.

Sin embargo, la clasificación manual no es económica y se debe utilizar la clasificación automática.

Los costes de capital de la clasificación automatizada son altos y deben compensarse con un alto flujo de desechos plásticos tratados, que puede incrementar también el coste de transporte.

Impactos económicos

Costes de reprocesamiento y fuerzas del mercado

Las principales razones de la falta de adopción de esquemas de reciclaje de polímeros son:

- Bajas tasas de recuperación,
- Desfavorable economía del transporte,
- Coste del proceso de reciclaje, incluidos los altos costes de capital
- Mercados volátiles para polímeros reciclados

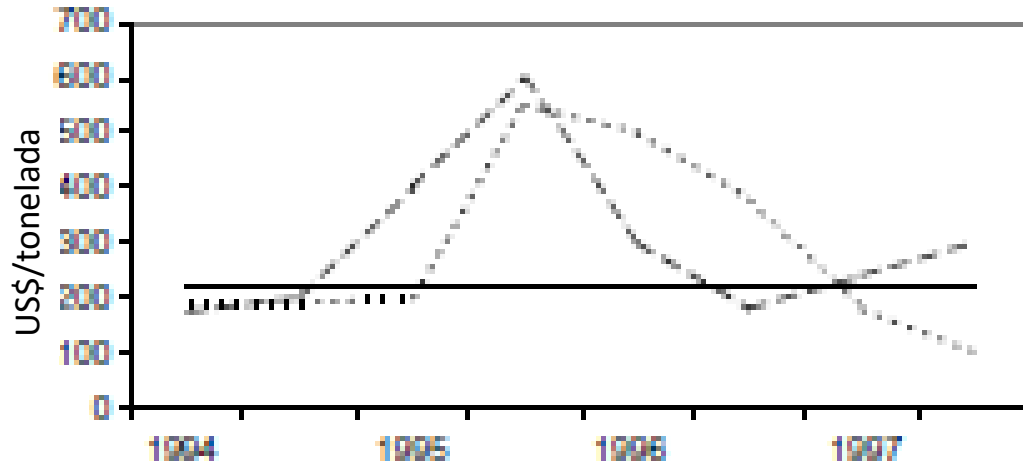
El reciclaje mecánico es más económico que el reciclaje químico, especialmente para los termoplásticos.

Impactos económicos

Costes de reprocesamiento y fuerzas del mercado

Estudio de Estados Unidos para reciclaje mecánico de botellas de HDPE y PET

--- HDPE (color natural) PET (transparente) — Costes del procesado

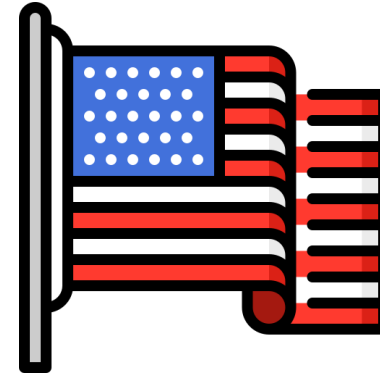


Precios de mercado de los principales polímeros reciclados y costes mínimos de reprocesado

Los precios de mercado de los polímeros reciclados dependen de los precios del petróleo y hacen que el mercado sea extremadamente volátil por lo tanto desalientan una mayor inversión en reciclaje

Impactos económicos

Costes de reprocesamiento y fuerzas del mercado



Estudio de Estados Unidos para el reciclaje químico por pirólisis y gasificación

Actividad	Costes (\$/tonelada)	
	Pirólisis	Gasificación
Recogida	140	140
Clasificación	200	200
Preparación	160	160
Procesado	220	180
Costes totales	720	680
Precio de venta del reciclado	120	300
Pérdidas	600	380

Ambas técnicas no fueron **económicamente viables**

Costes económicos de reciclaje por pirólisis y gasificación

Impactos económicos

Costes de reprocesamiento y fuerzas del mercado



Estudio europeo para los impactos económicos de diferentes opciones para la gestión de residuos de envases de plástico

Escenario	Reciclaje		Incineración	Vertedero
	Mecánico	Materia prima		
1	-	-	-	100
2	12	3	15	70
3	15	-	85	-
4	15	10	75	-
5	25	10	65	-
6	35	15	50	-

Porcentajes de residuo plástico tratado

Impactos económicos

Costes de reprocesamiento y fuerzas del mercado



Estudio europeo para los impactos económicos de diferentes opciones para la gestión de residuos de envases de plástico

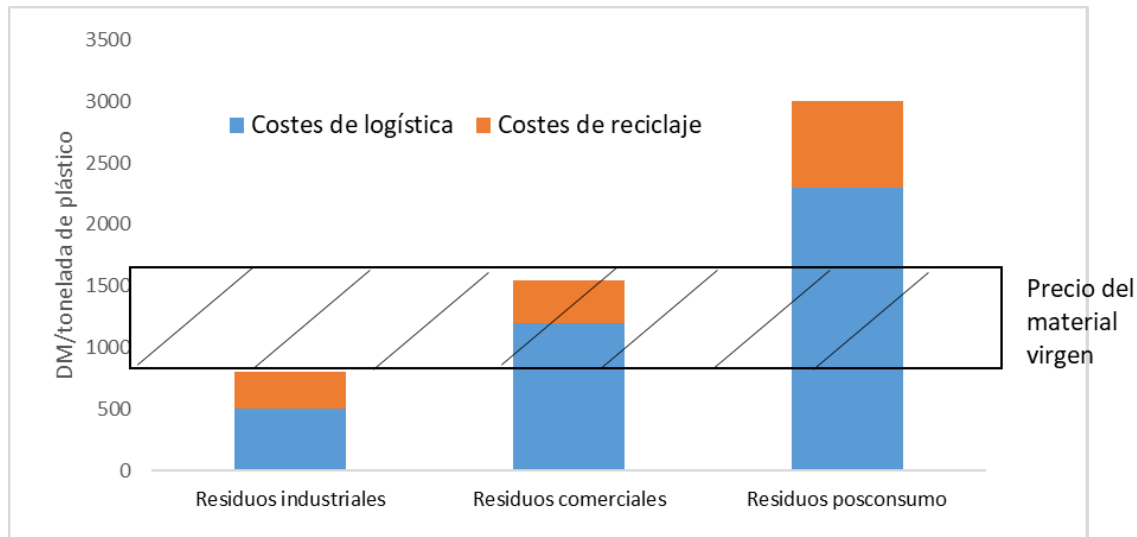
Escenario	Reciclaje		Incineración	Vertedero	Costes de gestión de residuos plásticos	TOTAL (Beneficios-costes)
	Mecánico	Materia prima				
1	-	-	-	100 %	0,17 €/kg	
2	12 %	3 %	15 %	70 %		
3	15 %	-	85 %	-	0,23 €/kg	MÁXIMO
4	15 %	10 %	75 %	-	0,24 €/kg	
5	25 %	10 %	65%	-		
6	35 %	15 %	50 %	-	0,67 €/kg	

Impactos económicos

Costes de reprocesamiento y fuerzas del mercado



Estudio alemán sobre los costes de gestión el plástico dependiendo de la fuente



Costes de la gestión de residuos en función de la fuente del residuo de embalaje plástico

Conclusiones de este estudio

- El reciclaje de residuos industriales y comerciales es rentable.
- El reciclaje de residuos plásticos posconsumo muy improductivo.
- El precio del material virgen determina altamente los beneficios o no del reciclaje de residuos plásticos.

Impactos económicos

CONCLUSIONES

- El reciclaje puede considerarse económicamente viable solamente si el coste del reciclaje es igual o más bajo que el coste de producir material virgen más el coste de los métodos alternativos de desecho.
- La alternativa económica más barata al reciclaje es el vertedero (30 \$/tonelada), pero con el aumento de los costes de desecho, el reciclaje de polímeros puede hacerse económicamente más atractivo.

Impactos económicos

CONCLUSIONES

- La incineración es la segunda opción más barata, seguida del reciclaje mecánico.
- Coste de incineración es alrededor 100 \$/tonelada. En Europa este costo es 400 €/tonelada. Aunque la incineración tiene menos impacto ambiental que el vertedero, la incineración tiene una fuerte oposición pública.
- Si el vertedero es todavía más económico que el reciclaje es porque está infravalorado. Solamente tiene en cuenta los costes más visibles (recogida de residuos, gestión del vertedero y costes de clausura) pero no considera otros costes menos tangibles (pérdida de recursos valiosos y protección ambiental).



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.

- Impactos económicos
- **Impactos ambientales**



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.
This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



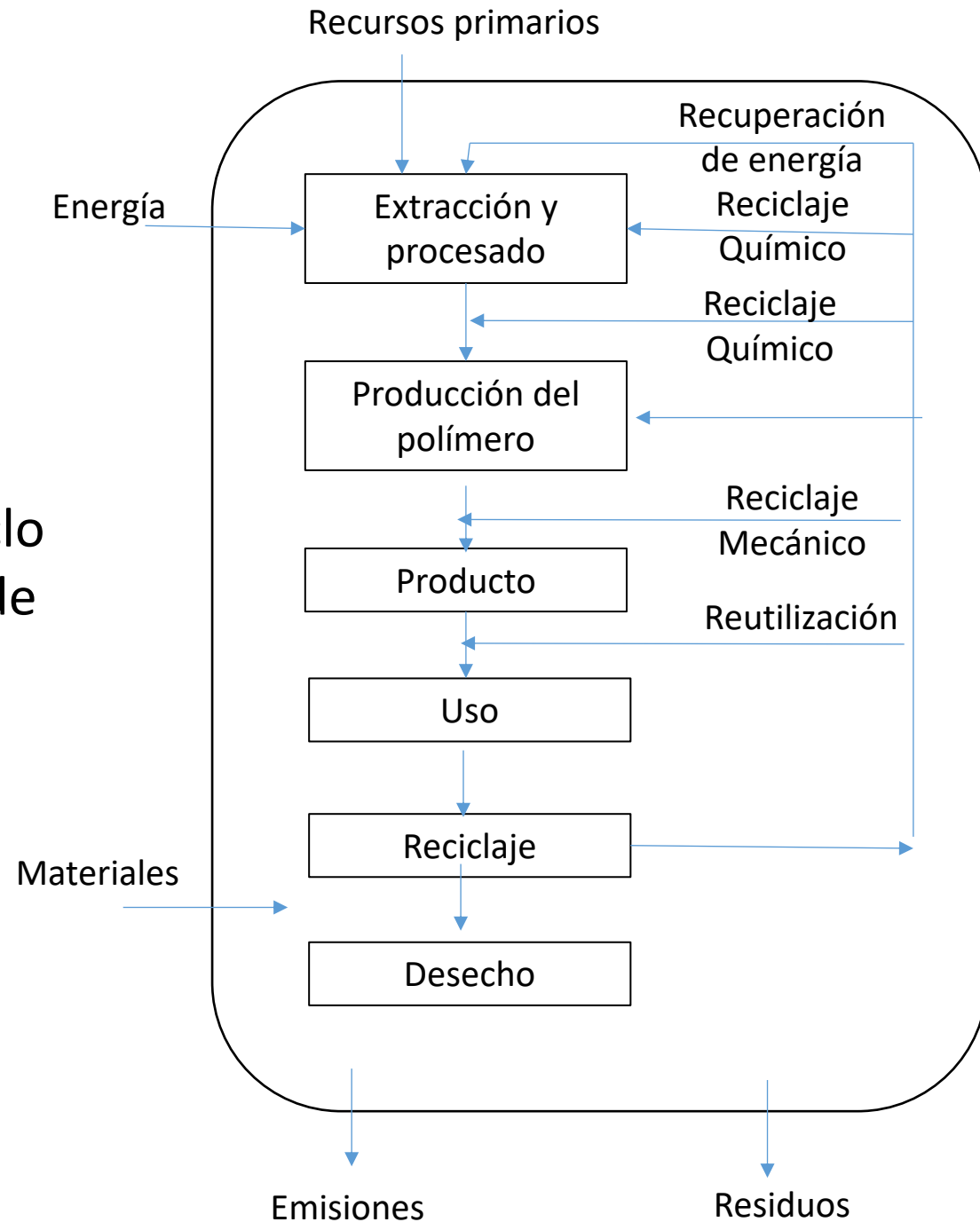
Impactos ambientales

	Ventajas	Desventajas
Mecánico Reciclaje	Proceso sencillo	La clasificación requiere mucha mano de obra y energía
Químico Reciclaje	Permite reciclar residuos sólidos mezclados	Altos costes de capital
Incineración	Barato	Emisiones
Vertedero	Barato	Impactos social y ambiental

Para escoger la mejor opción es necesario cuantificar los impactos ambientales además de los impactos económicos

Impactos ambientales del reciclaje: consideraciones del ciclo de vida

La figura muestra el diagrama del ciclo de vida de cuatro opciones de final de vida útil para los residuos plásticos



Impactos ambientales del reciclaje: consideraciones del ciclo de vida

- Reutilización: requiere la recogida de desechos y alguna restauración o remanufactura. Cada una de estas actividades requiere energía y materiales adicionales.
- Reciclaje mecánico: La clasificación requiere mucha mano de obra o energía según sea manual o automática. La molienda requiere energía (14 % de la energía total utilizada para las botellas de PET)
- La incineración de la mayoría de los plásticos básicos oscila entre 3100 y 3400 kg de CO₂/tonelada frente a los 1500 -2000 kg de CO₂/tonelada producida a lo largo de sus ciclos de vida.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Los impactos ambientales de las opciones al final de su vida útil se compararán en cinco casos diferentes.

Los impactos ambientales se cuantificarán mediante la herramienta de evaluación del ciclo de vida.

La evaluación del ciclo de vida transforma las entradas y salidas de todo el ciclo de vida de los plásticos en indicadores ambientales.

Es la herramienta más útil y científica para cuantificar los impactos ambientales.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Reciclaje en bucle cerrado: Paneles de plástico

Los paneles de plástico se montan sobre varios artículos: fotocopiadoras, ordenadores, teléfonos y máquinas de fax...

Es importante identificar opciones de final de vida útil que sean sostenibles. El vertedero tiene que evitarse.

En este caso, los paneles de plástico de la fotocopiadora son refundidos, pero estos paneles tienen un número limitado de ciclos de remodelación y tienen que desecharse (vertedero o incineración)

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Reciclaje en bucle cerrado: Paneles de plástico

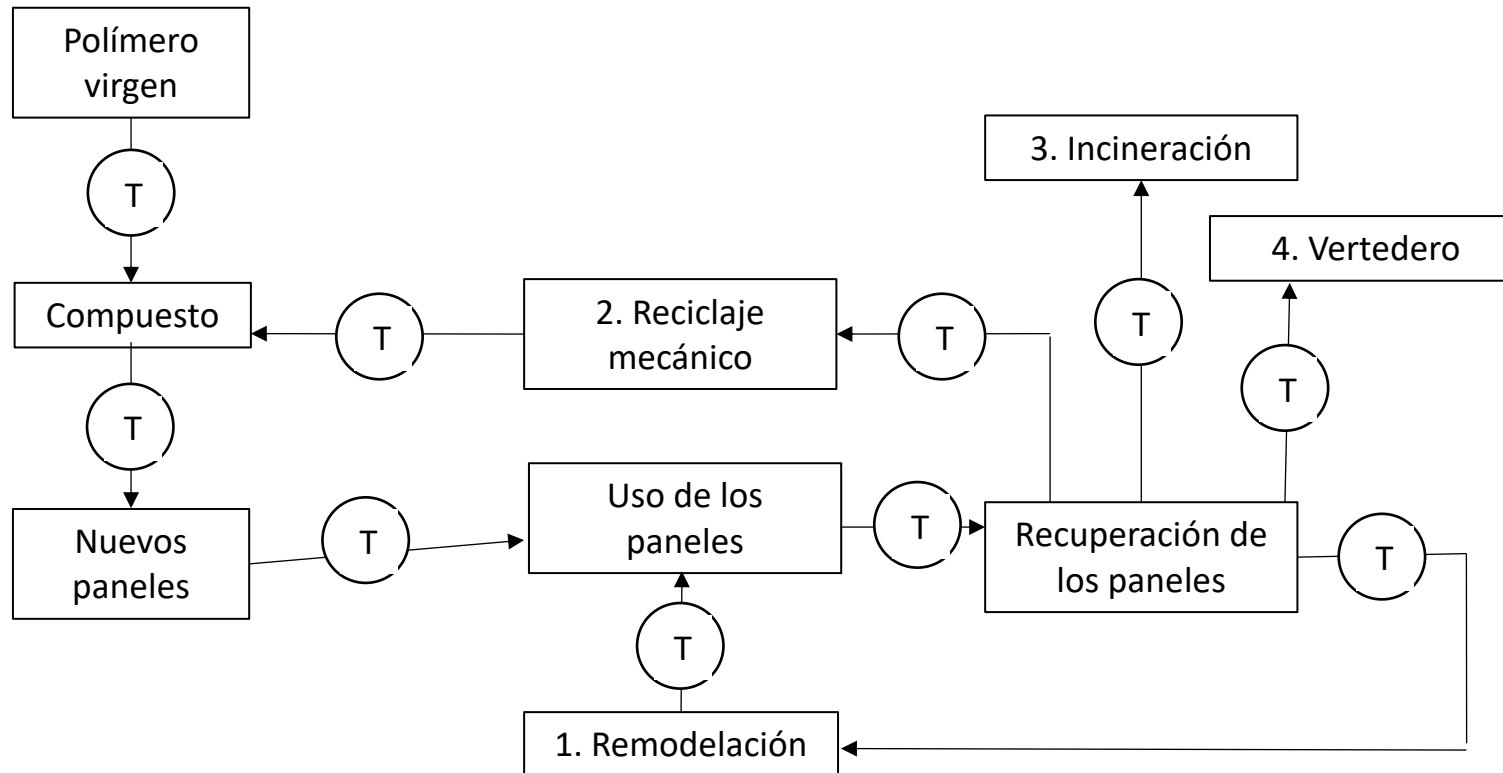


Diagrama de flujo de ciclo de vida ilustrando las opciones de producción, recuperación y reciclaje de los paneles de plástico

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Reciclaje en bucle cerrado: Paneles de plástico

El estudio es para 19000 paneles, que es la cantidad demandada al año en el Reino Unido. El polímero virgen es policarbonato y poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno) (ABS).

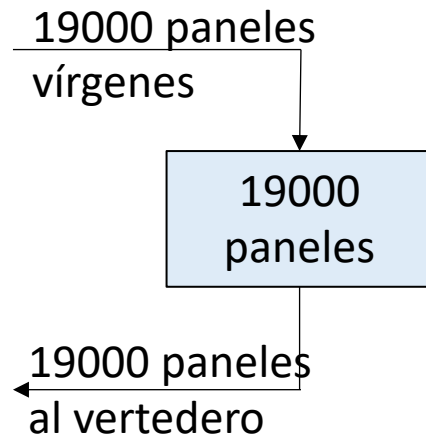
Los paneles de plástico de este estudio solamente se pueden reformar una vez, debido a problemas asociados con un repintado no satisfactorio. Los paneles reformados no se pueden reciclar mecánicamente.

El estudio considera 5 escenarios.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

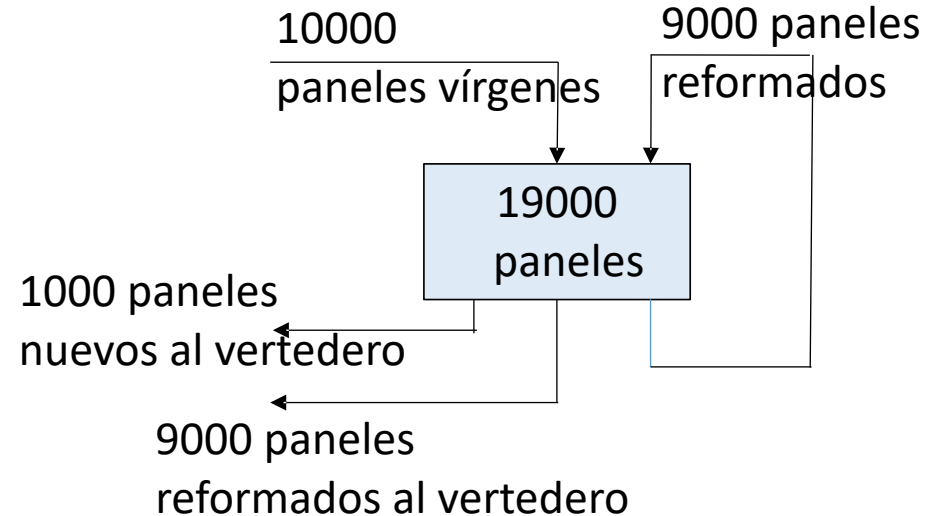
Reciclaje en bucle cerrado: Paneles de plástico

Escenario A



- Se hacen 19000 paneles con polímero virgen.
- Los paneles son ensamblados, utilizados una vez y eventualmente desmantelados y enviados al vertedero.

Escenario B

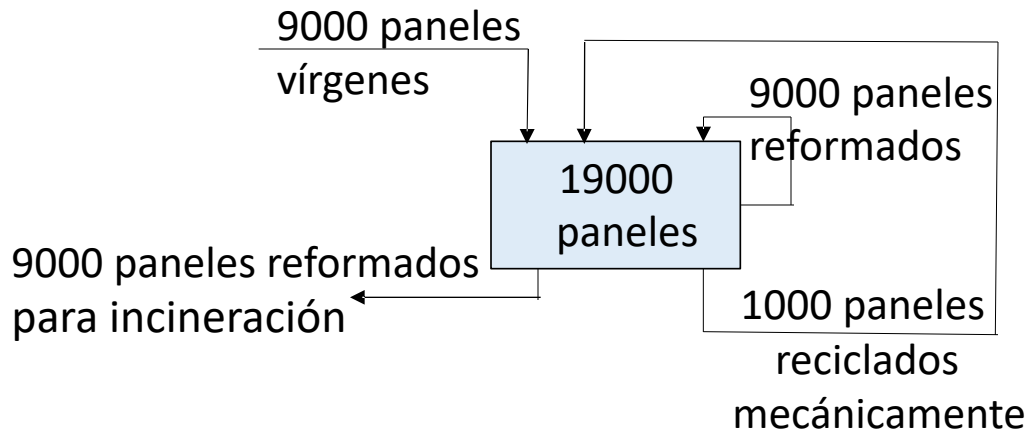


- Se hacen 10000 paneles con polímero virgen.
- Junto con 9000 paneles reformados, se ensamblan en 19000 fotocopiadoras.
- Después de su uso, los paneles son desmantelados. 9000 de los 10000 paneles nuevos son reformados, y los 1000 restantes son enviados al vertedero.
- Los 9000 paneles reformados son enviados al vertedero.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Reciclaje en bucle cerrado: Paneles de plástico

Escenario C

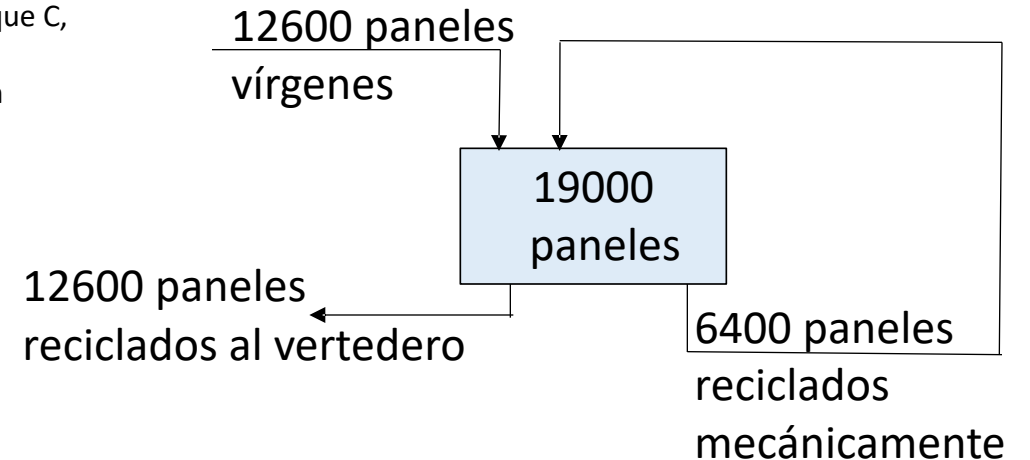


- Se fabrican 9000 paneles con polímero virgen.
- Se reforman 9000 paneles.
- 1000 paneles son reciclados mecánicamente. Se reciclan y mezclan con polímero virgen. Debido a restricciones de calidad, solamente un 25 % de material reciclado puede mezclarse con polímero virgen.
- Entonces, 10000 paneles son reciclado, los restantes 9000 paneles reformados son incinerados.

Escenario D

- Es el mismo escenario que C, pero en este caso 9000 paneles reformados son enviados al vertedero.

Escenario E

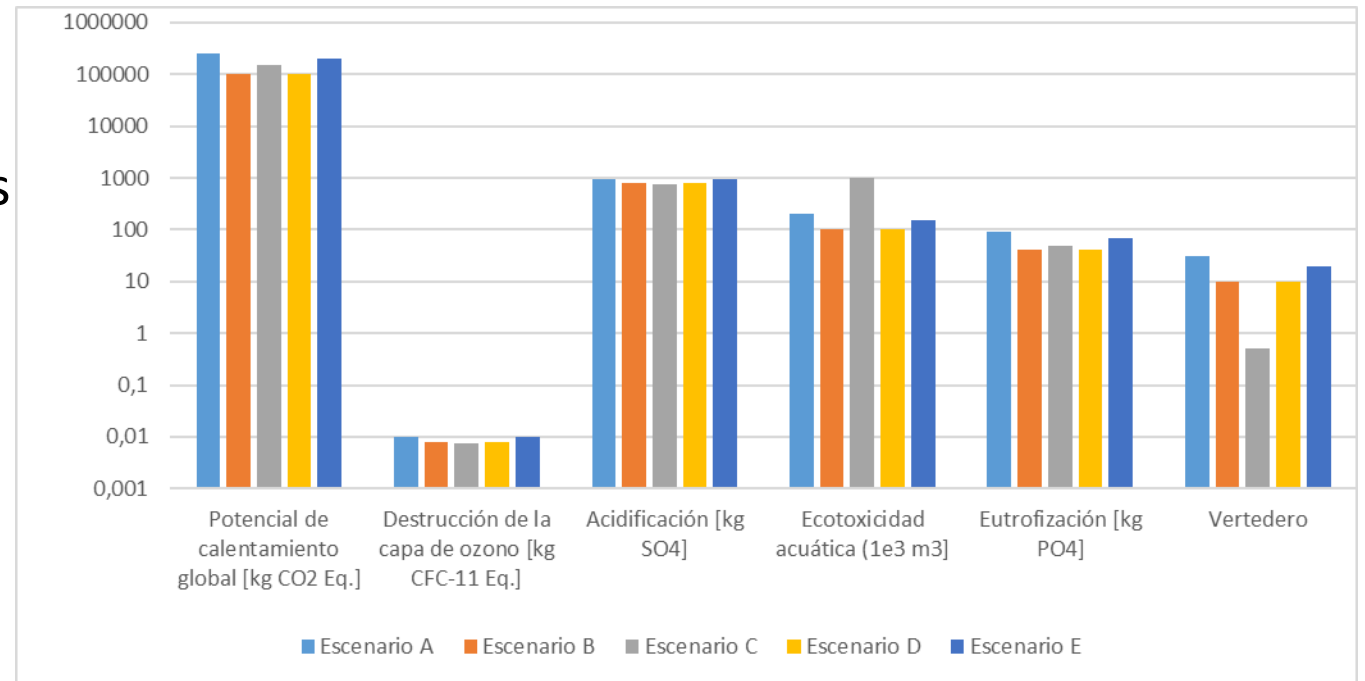


- Se fabrican 12600 paneles con polímero virgen y 6400 con una combinación de polímero virgen y reciclado.
- 12600 paneles reciclados van al vertedero.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Reciclaje en bucle cerrado: Paneles de plástico

- La opción D es la que tiene los impactos más bajos.
- La opción C sería la mejor pero tiene los impactos en ecotoxicidad acuática más altos. La opción C no recupera energía por incineración.
- Opción B es la segunda con impactos más bajos. La opción B envía al vertedero paneles reformados.



En resumen, una combinación de reciclaje en circuito cerrado (remodelación y mecánico) es la mejor opción de final de vida con respecto al impacto ambiental

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Uso en cascada: parabrisas de automóviles laminados

Este caso compara diferentes materiales plásticos que pueden utilizarse en parabrisas de coche laminados.

El objetivo es identificar la opción de final de vida óptima. Actualmente, solamente el parabrisas de vidrio es reciclado. El polímero utilizado por industria es el poli(butiral de vinilo) (PVB), pero puede utilizarse poli(cloruro de vinilo) (PVC), poli(etileno-co-acetato de vinilo) (EVA) y poliuretano (PU).

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Uso en cascada: parabrisas de automóviles laminados

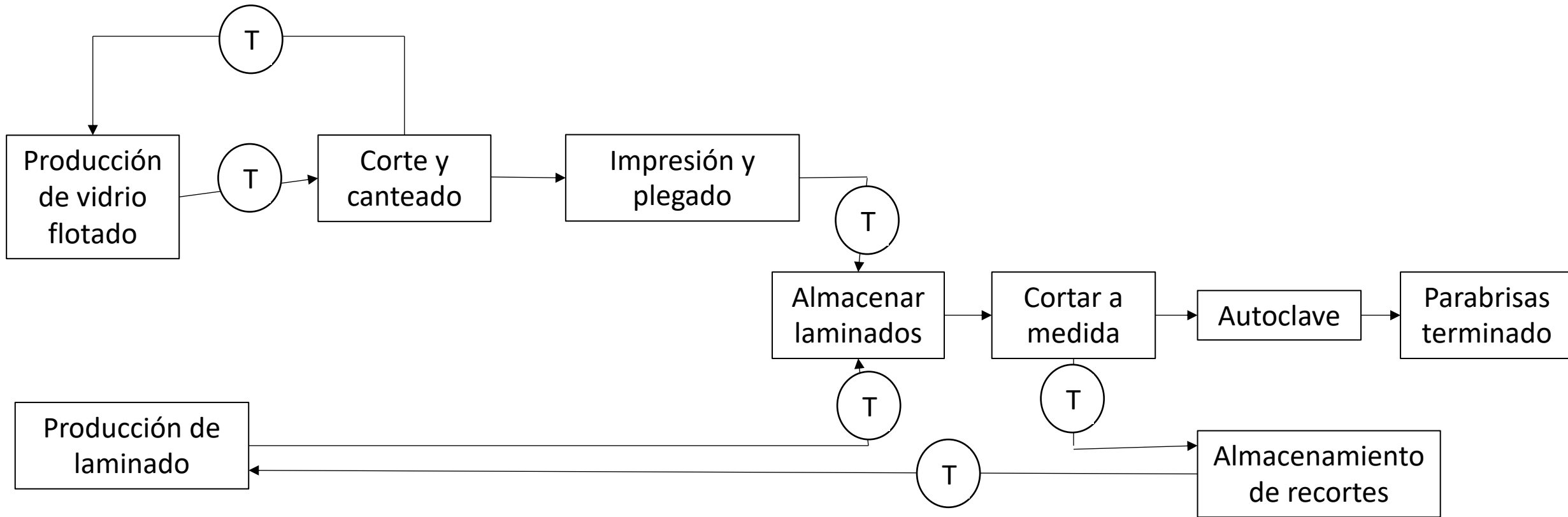
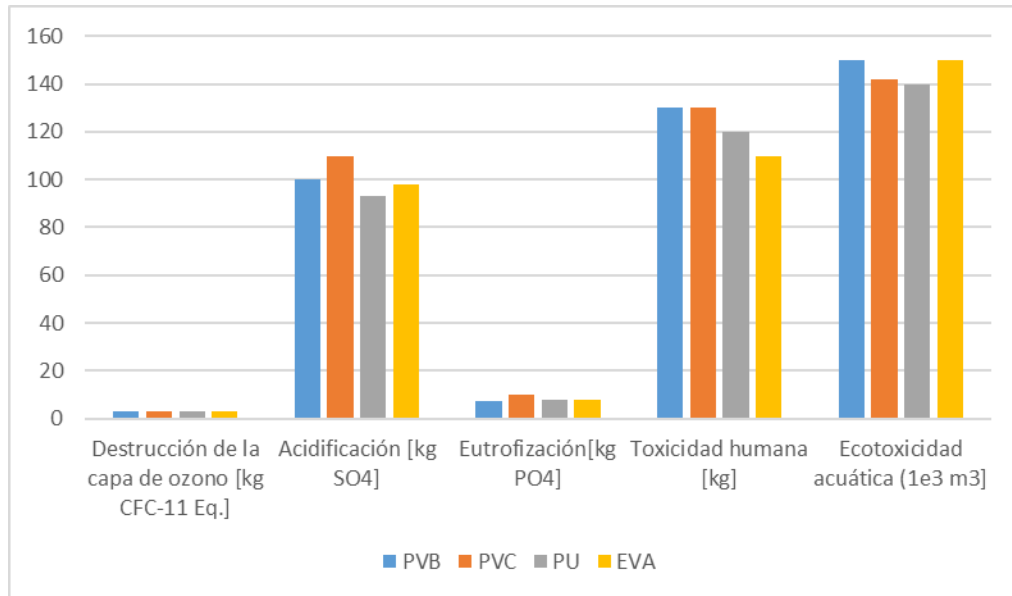


Diagrama del ciclo de vida para la producción de parabrisas laminados

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Uso en cascada: parabrisas de automóviles laminados



Primer uso de polímeros entre capas: comparación de los impactos ambientales del ciclo de vida. Los polímeros se depositan en vertederos.

	PVB	PVC	PU	EVA
Destrucción de la capa de ozono [kg CFC-11 Eq.]	2	1	1	1
Acidificación [kg SO4]	3	4	1	2
Eutrofización [kg PO4]	1	3	2	2
Toxicidad humana [kg]	3	3	2	1
Ecotoxicidad acuática (1e3 m3)	4	2	1	3

Clasificación de las capas intermedias en orden de preferencia con respecto a los impactos ambientales de su ciclo de vida

La elección del material más sostenible medioambientalmente no es clara.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Uso en cascada: parabrisas de automóviles laminados

Utilizando otros criterios como el económico y técnico, el PVC y el EVA se han seleccionado como las mejores opciones.

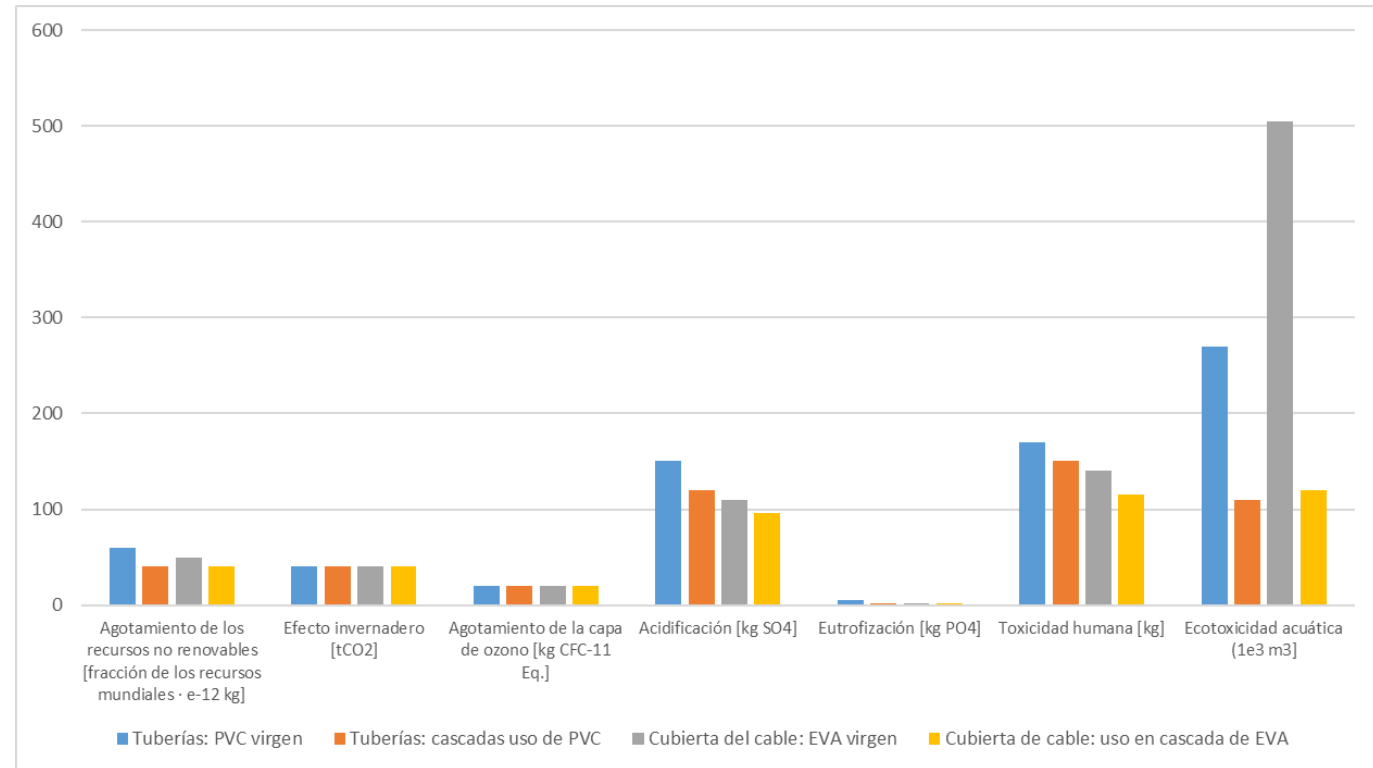
la segunda parte del estudio considera las posibilidades del final de la vida de los polímeros seleccionados. Los polímeros no se pueden reutilizar por razones técnicas pero puede reutilizarse en otras aplicaciones:

- El PVC se recicla para producción de tuberías.
- El EVA se recicla para producir forro de cables.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Uso en cascada: parabrisas de automóviles laminados

- Los resultados del uso en cascada tienen un impacto menor para ambos materiales.
- El uso en cascada de EVA es la mejor opción.
- Conclusión: EVA es el mejor material y debe reutilizarse para producir cubiertas de cables.

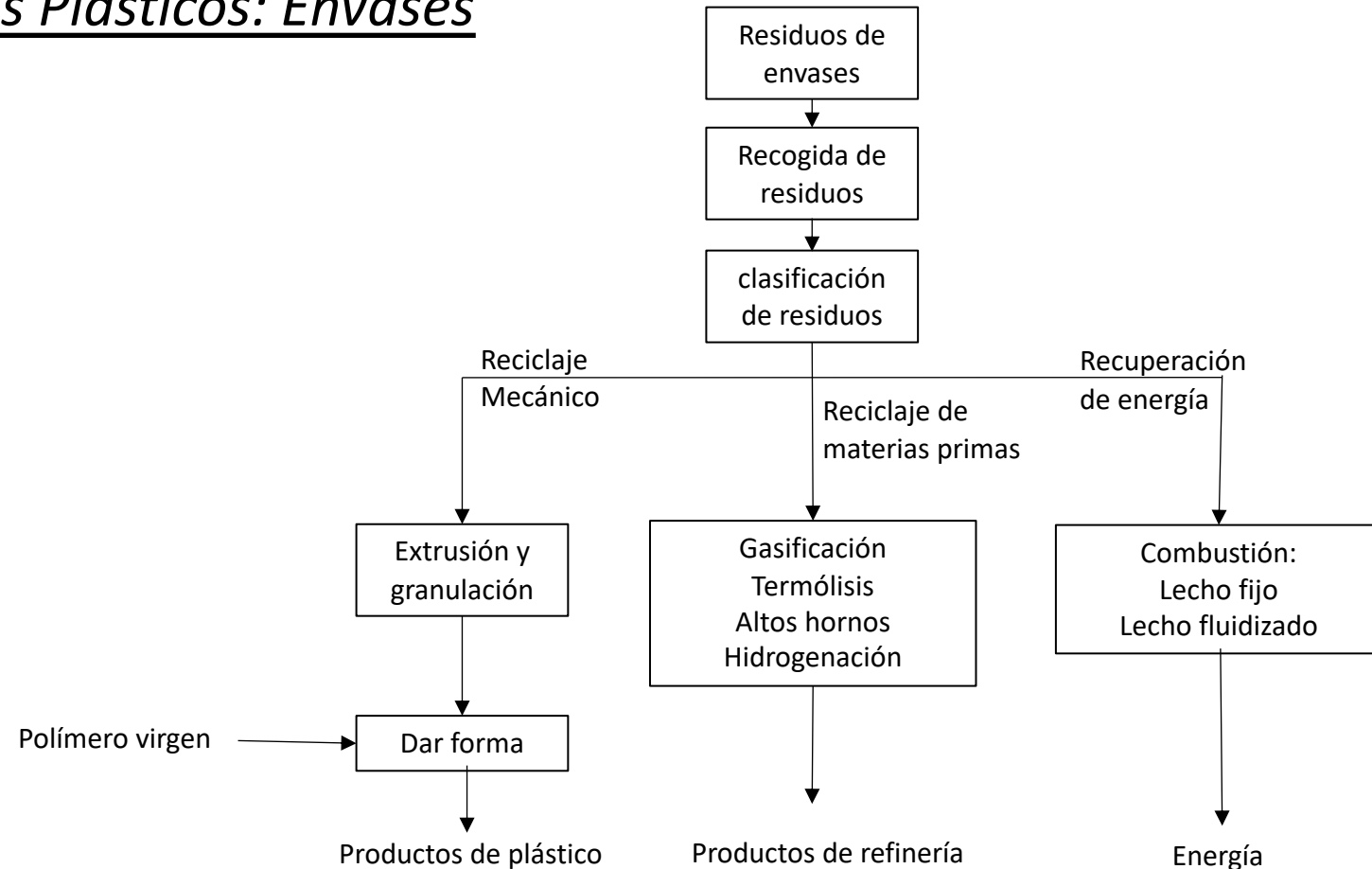


Comparación de los impactos del ciclo de vida del uso de PVC y EVA virgen y en cascada

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos Plásticos: Envases

Comparación de los impactos ambientales del reciclaje mecánico y químico (materia prima) y la recuperación de energía a partir de envases de desecho



Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos Plásticos: Envases

Se ha considerado solamente el reciclaje mecánico para residuos de botellas y películas de plástico y comprende las siguientes opciones:

- reciclar el granulado de botellas de desecho de vuelta a botellas;
- reciclar la película de embalaje de nuevo en película;
- reciclar películas en bolsas de basura;
- reciclar películas en tubo de cable.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos Plásticos: Envases

Las tecnologías de reciclaje de materia prima consideradas en este estudio de caso son:

- gasificación en lecho fijo con lignito;
- gasificación con lignito en un lecho fluidizado;
- Termólisis de plásticos en productos petroquímicos;
- uso de plásticos en altos hornos;
- hidrogenación junto con aceites residuales de vacío.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos Plásticos: Envases

Los impactos ambientales de las diferentes opciones de reciclaje se comparan en dos etapas.

La primera etapa examina las opciones de reciclaje de materias primas y de recuperación de energía y la segunda etapa compara estos métodos con el reciclaje mecánico.

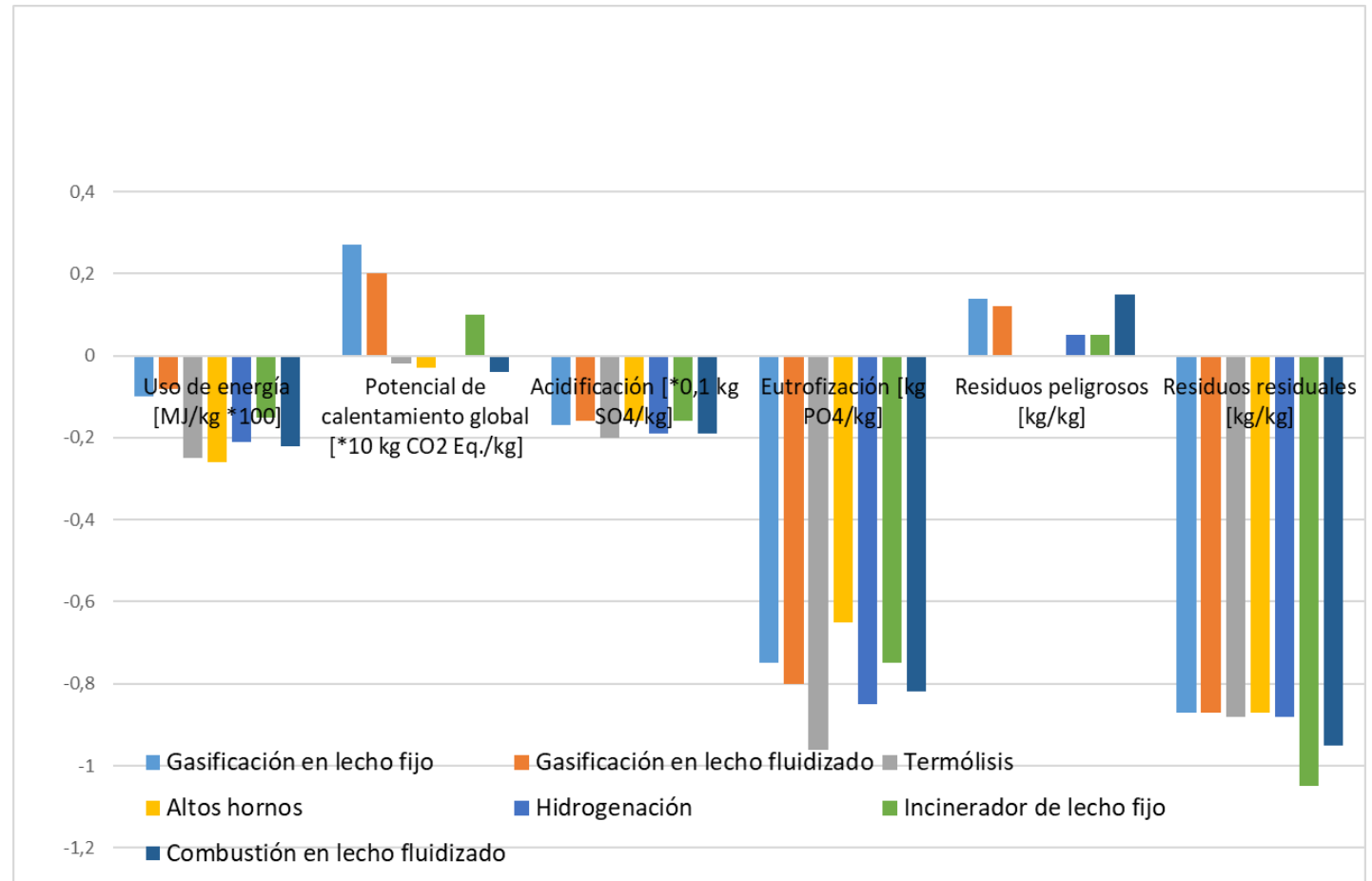
Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos

Plásticos: Envases

Primera etapa: comparación del reciclaje de la materia prima y de la recuperación de energía

- El vertedero se ha elegido como escenario de referencia.
- Todas las opciones de recuperación de materias primas y energía tienen menor impacto ambiental que el vertedero.



Comparación de los impactos del ciclo de vida para el reciclaje de materias primas y la recuperación de energía de residuos de embalaje plástico

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos

Plásticos: Envases

Primera etapa: comparación del reciclaje de la materia prima y de la recuperación de energía

- La recuperación de materia prima en altos hornos y la termólisis podrían recomendarse como las opciones más sostenibles

	Energía usada	Calentamiento global	Acidificación	Eutrofización	Residuos peligrosos	Residuos residuales
Gasificación en lecho fijo	6	6	4	6	6	6
Gasificación en lecho fluidizado	7	7	5	4	5	5
Termólisis	2	2	1	1	1	3
Altos hornos	1	1	6	7	2	6,7
Hidrogenación	4	4	3	2	3	4
Incinerador de lecho fijo	5	5	7	5	4	1
Combustión en lecho fluidizado	3	3	2	3	7	2

Comparación de los impactos del ciclo de vida para el reciclaje de materias primas y la recuperación de energía de residuos de embalaje plástico

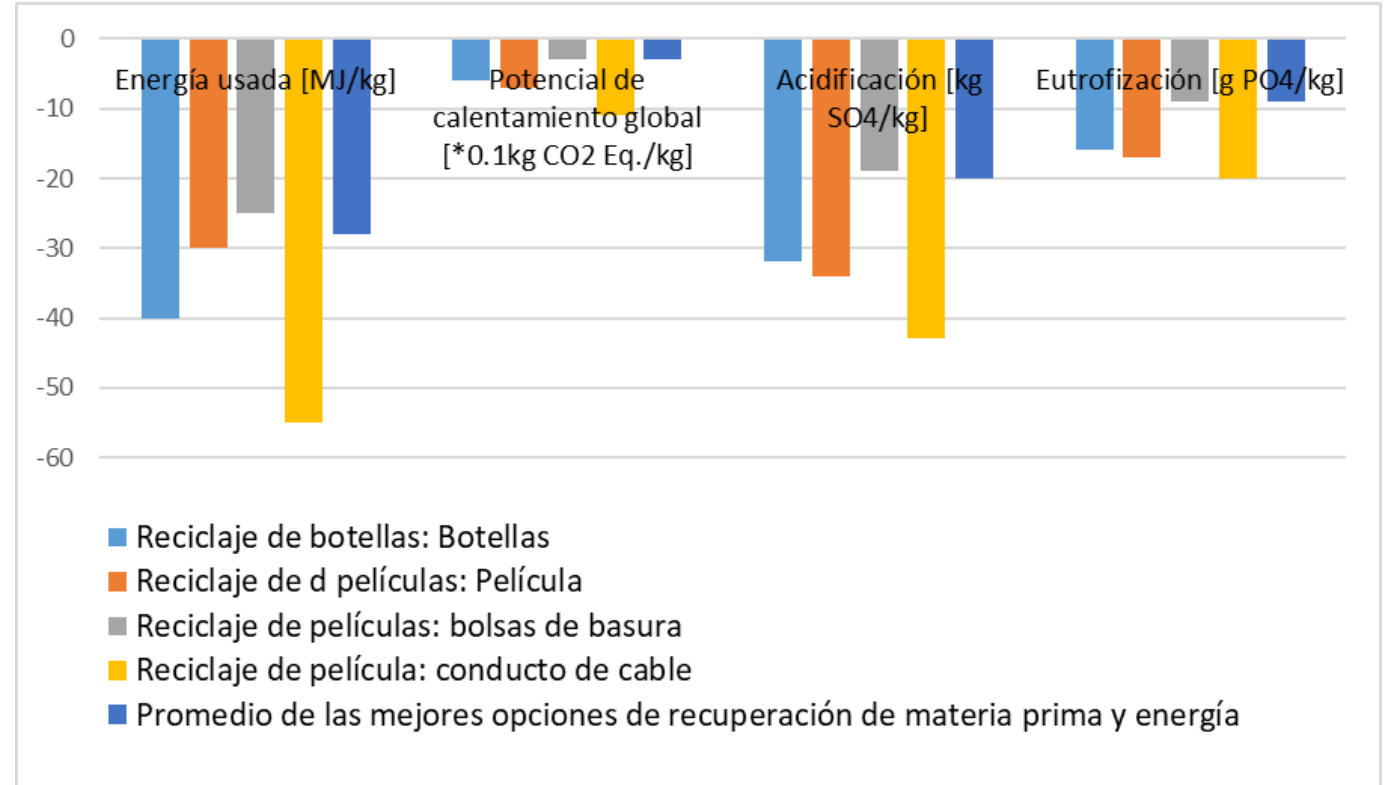
Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos

Plásticos: Envases

Segunda etapa: comparación del reciclaje mecánico

- Hay una reducción general en los impactos para todas las opciones de reciclaje mecánico comparado con el escenario de referencia (vertedero).
- La mejor opción para todos los impactos parece ser el reciclaje de películas en tubo de cable.



Comparación de los impactos del ciclo de vida del reciclaje de botellas y película con los mejores opciones para el reciclaje de materias primas y la recuperación de energía

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Gestión Integral de Residuos Plásticos: Envases

- En resumen, el reciclaje mecánico es ambientalmente más sostenible que la recuperación de materia prima o energía.
- Sin embargo, dada la capacidad, las restricciones tecnológicas y de clasificación actuales, el reciclaje mecánico se combina con el reciclaje de materias primas y la recuperación de energía para la valorización de los residuos que no pueden ser reciclados mecánicamente.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Diseño de producto de ciclo de vida para reciclaje químico: Amortiguación “Waterlily”

- Este estudio de caso aplica los criterios de diseño del ciclo de vida para desarrollar un novedoso material de amortiguación de muebles de poliuretano (PU) reciclable (colchón) llamado “Waterlily” (nenúfar).
- El estudio tiene como objetivo identificar las opciones más apropiadas para el final de la vida útil de la espuma de PU, que permitiría el rediseño del producto existente para mejorar la reciclabilidad.

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Diseño de producto de ciclo de vida para reciclaje químico: Amortiguación “Waterlily”

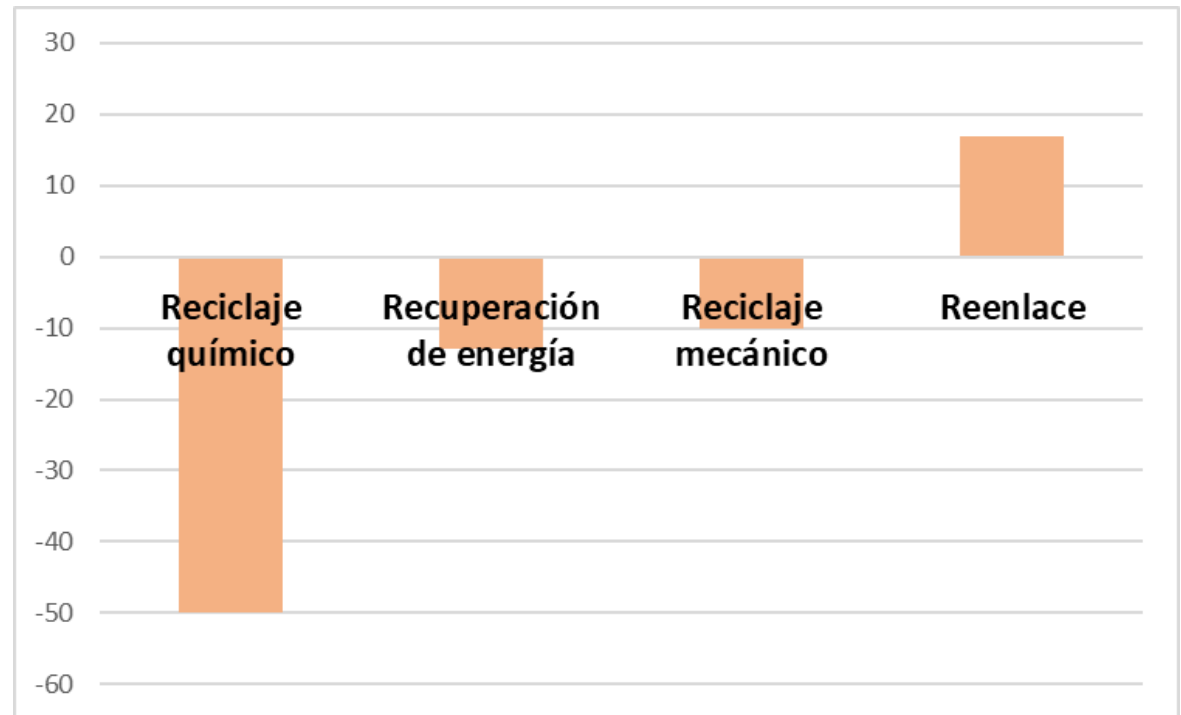
Se consideraron varias opciones de reciclaje:

Reenlace de virutas de desecho en la base de la alfombra (ubicado en EE. UU.)
Reciclado mecánico a polvo fino, utilizado para producir espuma flexible
Incineración
Reciclado químico por glucólisis en fase dividida que proporciona polirol flexible puro que se utiliza para reemplazar completamente el polirol virgen

Estudios de evaluación del ciclo de vida de opciones y tecnologías de reciclaje

Diseño de producto de ciclo de vida para reciclaje químico: Amortiguación “Waterlily”

- El diseño para el reciclaje químico aparece ser la opción más sostenible en este caso



Comparación de diferentes opciones de reciclaje para colchones “Waterlily”

Evaluación del ciclo de vida de residuos de envases de papel y plástico en vertederos, incineración y gasificación-pirólisis

Este estudio evaluó y comparó el desempeño ambiental del tratamiento de residuos de plástico mezclado usando

- (1) vertedero,
- (2) incineración y
- (3) gasificación-pirólisis.

La unidad funcional es el tratamiento de 1 kg de plástico mezclado.

Evaluación del ciclo de vida de residuos de envases de papel y plástico en vertederos, incineración y gasificación-pirólisis

En cuanto al potencial de acidificación, el potencial de eutrofización y la formación de ozono fotoquímico, la incineración es el mejor tratamiento

En cuanto al Potencial de Calentamiento Global, el vertedero es el mejor tratamiento



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking Academy to Industry.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



Derechos de autor: CC BY-NC-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Con esta licencia, eres libre de compartir la copia y redistribuir el material en cualquier medio o formato. También puede adaptar remezclar, transformar y construir sobre el material.

Sin embargo únicamente en los siguientes términos:

Atribución —debe otorgar el crédito apropiado, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera la licenciante respalda usted o su uso

No comercial— no puede utilizar el material con fines comerciales.

Compartir por igual—si remezcla, transforma o construye sobre el material, debe distribuir sus contribuciones bajo la misma licencia que el original.

Sin restricciones adicionales —no puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.

This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.