



SUSTAINABLE
RECYCLING
INDUSTRIES

Procesamiento de plásticos de **RAEE**

Manual práctico

Diciembre, 2019

Autores

Andreas Bill, Michael Gasser, Arthur Haarman, Heinz Böni
Empa, Suiza

Año de publicación

2019 (*idioma original inglés*)

Traducción

Traducido al español en marzo 2020 por Carlos Hernandez y Olga Ortiz

ISBN

978-3-906177-24-3

Agradecimientos

Este manual fue preparado como parte del Proyecto SRI financiado por [SECO](#), el cual es implementado conjuntamente por [Empa](#) y [WRF](#). Se ha escrito en estrecha colaboración con la [StEP initiative](#) y nos gustaría agradecer sinceramente a todos los que contribuyeron a su contenido a través de sus valiosos aportes y comentarios. Esto incluye especialmente a los miembros del grupo de trabajo StEP para plásticos y Roland Weber de POPs Environmental Consulting, así como a [SERI](#) por sus contribuciones financieras.



La iniciativa **Solucionando el Problema de los Residuos Electrónicos (StEP)** por sus siglas en inglés), es una plataforma independiente multiactor, enfocada en diseñar estrategias que aborden todas las dimensiones de la electrónica en un mundo cada vez más digitalizado. StEP facilita la investigación, el análisis y el diálogo entre los miembros provenientes de empresas, organizaciones internacionales, gobierno, ONGs e instituciones académicas alrededor del mundo.



Reciclaje Internacional de Electrónicos Sostenible (SERI) por sus siglas en inglés), es una organización sin ánimo de lucro dedicada a la creación de un mundo donde los productos electrónicos se reutilizan y reciclan de una manera que promueve la preservación de los recursos; el bienestar del ambiente; y la salud y seguridad de los trabajadores y la comunidad.

Licencia



Este trabajo está licenciado bajo la [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).

Descargo

Este documento ha sido producido sin la edición formal de SECO. Las designaciones empleadas y la presentación del material en este documento no implican la expresión de ninguna opinión por parte de SECO con relación al estado legal de ningún país, territorio, ciudad o área, o sobre la delimitación de sus fronteras o su sistema económico o grado de desarrollo. La mención de nombres de firmas o producción comercial no constituye ningún respaldo por parte de SECO.

Introducción

Cuando las personas descartan sus Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) usados, resultan disponibles diferentes materiales que se pueden reciclar y reutilizar. Las empresas de reciclaje procesan estos Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y venden los materiales clasificados a las industrias de refinación y manufactura. En términos de volumen, los materiales más importantes son el acero, el aluminio y el cobre, así como los plásticos. Recuperar estos y algunos otros metales es bastante sencillo y los mercados locales de chatarra son generalmente abundantes. Por otro lado, la valorización de la fracción plástica es más difícil porque los diferentes plásticos deben clasificarse por tipo. Además, los plásticos que contienen aditivos peligrosos deben eliminarse y los mercados individuales tienen que ser identificados. El propósito de este documento es proporcionar información práctica sobre cómo reconocer, procesar y comercializar diferentes plásticos de RAEE. Está especialmente orientado al reciclaje de empresas en economías emergentes y en desarrollo, donde el potencial de inversión en tecnologías avanzadas suele ser muy limitado.

Estructura del manual:



Información General



Identificación y clasificación



Clientes potenciales y mercados



Diseño de proceso



Gestión de plásticos remanentes

Se sugiere a los usuarios de este manual implementar, adaptar y desarrollar aún más los métodos y procesos discutidos a lo largo del documento, en función de sus propias necesidades. Si bien se ha tenido el máximo cuidado para recopilar información precisa y actualizada, los usuarios deben tener en cuenta que las condiciones y el mercado del reciclaje de plásticos están cambiando muy rápidamente y que los métodos descritos sólo deben realizarse cuando se utilizan equipos y procesos de seguridad adecuados. Los autores, las organizaciones y las personas relacionadas con este manual y la organización patrocinadora no se hacen responsables de las pérdidas y daños relacionados con el uso de la información contenida en este documento.





Información General

Los plásticos son materiales muy versátiles. Pueden ser duros o blandos, rígidos o flexibles, transparentes u opacos, livianos o pesados, etc. Estas propiedades físicas dependen del tipo de plástico, pero también pueden estar influenciadas por productos químicos y otros aditivos. Debido a su versatilidad y al hecho de que los plásticos a menudo son más baratos y livianos que materiales alternativos (por ejemplo, madera o metal), su presencia en los productos está aumentando. Las empresas de reciclaje de RAEE están experimentando este desarrollo de primera mano, ya que la proporción de plásticos en su material de entrada ha aumentado en los últimos años y actualmente es de hasta un 20% en promedio. Las empresas que participan activamente en el comercio y el procesamiento de RAEE pueden beneficiarse sustancialmente de una valorización exitosa de los plásticos, simplemente porque estos materiales representan una gran cantidad de los residuos que ingresan. Además, la recuperación y el reciclaje de plásticos también tienen importantes beneficios ambientales, por medio de la sustitución de plásticos vírgenes en los productos¹ y, asimismo, porque las tasas de reciclaje más altas resultan en menos desechos plásticos que terminan en el ambiente y en menores emisiones de CO₂. Sin embargo, hay dos desafíos principales que deben abordarse para el reciclaje de plástico de RAEE:

1. Los RAEE contienen diferentes tipos de plásticos. Para obtener productos de alta calidad, los diferentes tipos de plástico deben clasificarse antes de que puedan llegar a ser procesados.
2. Los plásticos a menudo contienen aditivos, algunos de los cuales son peligrosos para la salud humana y para el ambiente. Los aditivos plásticos más problemáticos son los Retardantes de llama bromados (en adelante BFR por sus siglas en inglés) y los aditivos basados en metales pesados (principalmente Pb y Cd). Los plásticos que contienen tales sustancias peligrosas deben ser removidos y dispuestos de manera adecuada.

Tipos de plásticos

Se pueden distinguir dos grupos principales de plásticos, según sea su reacción al calor. Los termoplásticos, que se ablandan y funden cuando se calientan, y se endurecen nuevamente cuando se enfrían. Los termoestables, que por el contrario, se vuelven rígidos cuando se calientan y también permanecen rígidos después de enfriarse, lo que hace imposible su reciclaje. Afortunadamente, la mayoría de los plásticos encontrados en RAEE pertenecen al primer grupo y pueden reciclarse. Sin embargo, con algunas pocas excepciones (por ejemplo, ABS/PC), el mezclar estos plásticos en el proceso de reciclaje tiene efectos negativos en las cualidades del material, como la flexibilidad, la dureza o la durabilidad. La clave para el reciclaje de plásticos RAEE es, por lo tanto, una clasificación efectiva, lo cual es un desafío ya que en los RAEE están presentes más de 15 tipos diferentes de plásticos e identificarlos y clasificarlos no siempre es fácil. Para simplificar la tarea, los plásticos que se usan con mayor frecuencia en AEE pueden separarse primero.

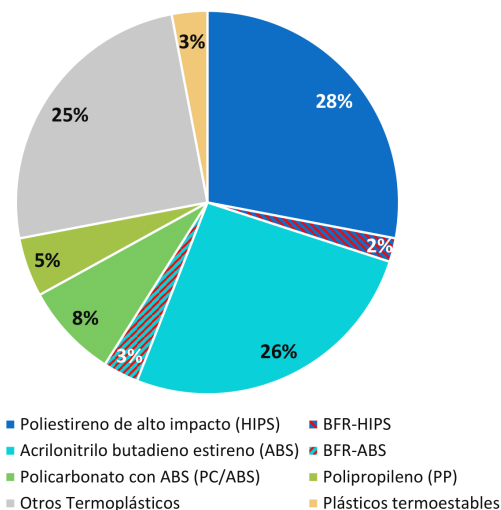


Figura 1: Principales tipos de plástico utilizados en AEE²

¹ Un Análisis de Ciclo de Vida detallado evalúa los beneficios ambientales del reciclaje de plástico se puede encontrar en: P.A. Wäger, R. Hischer / Science of the Total Environment 529 (2015) 158-167

² Tipos de plástico encontrados en RAEE determinados por: C. Slikhuis, Going Green Care Innovation 2018



Como se indica en la Figura 1, más del 70% de la masa total de plásticos RAEE se compone de los mismos cuatro tipos que se pueden recolectar, procesar y vender en grandes volúmenes. Los métodos sobre cómo identificar y clasificar estos y otros tipos de plástico se presentarán a lo largo de este documento. Estos métodos se pueden desarrollar y adaptar aún más para apuntar a otros plásticos RAEE.

Aditivos plásticos

Los fabricantes de plástico usan a menudo productos químicos y otros materiales para cambiar las propiedades de sus productos. Dichos aditivos pueden hacer que los plásticos sean más duros, más flexibles, más brillantes y resistentes al calor o simplemente darles un cierto color³. Desafortunadamente, la presencia de algunos de estos aditivos restringe la reciclabilidad de los plásticos. Algunas de las sustancias químicas que fueron usadas en el pasado, y que aún se usan, son peligrosas para la salud humana y el ambiente. Otros aditivos pueden dañar el equipo de reciclaje, o su presencia reduce la calidad de los plásticos reciclados. Para valorizar de manera segura y exitosa los plásticos, las empresas de reciclaje deben saber cómo detectar la presencia de aditivos problemáticos y cómo remover y disponer las fracciones de plástico que no sean aptas para el reciclaje.

Materiales de relleno

Los plásticos se mezclan con materiales de relleno de bajo costo para reducir el costo de producción. Algunos rellenos también pueden hacer que un plástico sea más rígido o aumentar su fortaleza, dureza o resistencia al calor. La mayoría de estos materiales se basan en minerales o fibra de vidrio. Los rellenos a base de minerales (por ejemplo, carbonato de calcio, talco, etc.) no son, en general, problemáticos en el proceso de reciclaje. Los rellenos a base de fibra de vidrio se utilizan para aumentar la fortaleza y resistencia a la flexión de algunos plásticos. Su presencia puede ser problemática en el proceso de reciclaje, especialmente cuando el contenido de fibra de vidrio es alto.



Arriba: Mineral de relleno (CaCO_3)
Abajo: Fibra de vidrio



Un contenido muy alto de materiales de relleno mineral puede hacer que el plástico sea frágil. Los plásticos frágiles deben separarse ya que afectan la calidad del producto.



Si se utiliza una trituradora mecánica para granular plásticos, ésta puede dañarse cuando se procesan materiales con alto contenido de fibra de vidrio.



Cuando las fibras de vidrio son cortadas y reducidas en el proceso de reciclaje, se pierden sus efectos positivos sobre la fortaleza y la resistencia a la flexión, lo que resulta en una calidad reducida del producto.

Plastificantes

Estos productos químicos aumentan la ductilidad, flexibilidad y durabilidad de los plásticos. Su aplicación principal es en la producción de PVC flexible, que a menudo se utiliza como aislante de cables, pero también es posible encontrarlos en otros plásticos de RAEE. Algunos plastificantes son peligrosos para la salud humana y especialmente los niños y las mujeres embarazadas no deben exponerse a estos químicos.



Plastificante usado para PVC flexible

³ Para un panorama detallado sobre aditivos plásticos ver: J.N. Hahladakis et al. / Journal of Hazardous Materials 344 (2018) 179-199



El PVC flexible a menudo contiene altos niveles de plastificantes potencialmente peligrosos y no deben usarse para hacer juguetes o productos que entren en contacto con alimentos o agua.

Retardantes de llama

Los retardantes de llama se utilizan para hacer que los plásticos sean más resistentes al fuego. Durante el uso de los AEE ciertas piezas de plástico se exponen regularmente al calor, por lo que los plásticos de RAEE a menudo contienen cantidades significativas de retardantes de llama. Estos aditivos se pueden clasificar en tres grupos principales:

- Retardantes de llama minerales
- Retardantes de llama a base de fósforo
- Retardantes de llama bromados (BFR)



Los retardantes de llama son usados para evitar que los plásticos se incendien cuando se exponen al calor.

Algunos retardantes de llama son peligrosos para la salud humana y el ambiente. Varios productos químicos que pertenecen al tercer grupo son contaminantes orgánicos persistentes (COP) y, por lo tanto, son especialmente problemáticos, por lo que su uso está restringido por límites regulatorios, como los establecidos en la Directiva RoHS, (por ejemplo, PBB, PBDE, HBCDD). Por lo tanto, los plásticos que contienen BFR deben separarse y gestionarse adecuadamente.



Los altos niveles de BFR a menudo se pueden encontrar en carcasas de plástico de pantallas, equipos informáticos y pequeños dispositivos electrónicos, mientras que los niveles de BFR en plásticos de grandes electrodomésticos (refrigeradores, congeladores, lavadoras, secadoras, etc.) generalmente están por debajo de los valores límite legales.



Se utilizan diferentes retardantes de llama en combinación con diferentes tipos de plástico. Los BFR están presentes principalmente en plásticos ABS y HIPS. Como se indica en la Figura 1, alrededor del 10% de todos los plásticos ABS y HIPS encontrados en RAEE contienen BFR.

Pigmentos

El color de un plástico puede ser influenciado por la adición de pigmentos. Estos son generalmente compuestos inorgánicos, algunos de los cuales se basan en metales pesados como el Plomo y el Cadmio. Los metales pesados son tóxicos para la salud humana y el ambiente y, por lo tanto, su presencia en productos reciclados está restringida por valores límite legales (Ver Directiva RoHS).



Los pigmentos se usan para agregar color.



Los plásticos deben clasificarse por color durante el proceso de reciclaje. Los plásticos blancos y transparentes alcanzan los precios más altos del mercado, seguidos de fracciones de un solo color. Las fracciones plásticas de colores mezclados son generalmente menos valiosas.



Los plásticos de color rojo, naranja y amarillo pueden contener pigmentos a base de Plomo o Cadmio. Cuando se sospecha la presencia de estos metales pesados, las piezas de plástico deben removerse del proceso de reciclaje.



Identificación y clasificación de plásticos

Lo primero que se debe hacer al seleccionar los plásticos de RAEE para su valorización es separarlos de otros materiales. Esto se puede hacer manualmente sin dificultades. El resultado, sin embargo, es una fracción de partes plásticas mezcladas, incluyendo diferentes tipos de plástico, de los cuales algunos contienen aditivos no deseados. Para establecer un modelo de negocio exitoso, las empresas de reciclaje necesitan saber qué tipos de plástico están presentes en sus entradas de RAEE y cómo pueden reconocer y separar los que se pueden vender.

Primeras pistas

Cuanta más información tenga una empresa de reciclaje sobre su material de entrada, mejor podrá diseñar procesos de clasificación eficientes. Como punto de partida, se puede utilizar la información relacionada con la función específica que debe cumplir una parte y el producto del cual se obtiene. Algunos plásticos, por ejemplo, se utilizan con fines muy específicos y pueden identificarse debido a esto. Por ejemplo, una lámina de plástico transparente obtenida del desensamble de una pantalla plana, está casi seguramente hecha de plástico PMMA (Polimetilmetacrilato). Otros plásticos se usan comúnmente en algunos dispositivos, pero rara vez en otros, y algunos se pueden encontrar en casi cualquier dispositivo. Saber dónde se utilizan con frecuencia los diferentes plásticos, permite estimar cuánto de cada tipo puede obtenerse de un lote de entrada. La Figura 2 muestra la composición promedio de plástico de diferentes categorías de RAEE⁴. Aunque el material de entrada que recibe una empresa de reciclaje a menudo es variable, estas cifras pueden usarse para hacer estimaciones de la composición de plástico que se recibe en la planta, así como para hacer suposiciones bien fundadas sobre la composición de ciertas partes (por ejemplo, una carcasa de plástico de un TV de TRC probablemente esté hecha de HIPS o plástico ABS). Sin embargo, es importante reconocer que los gráficos representan valores promedio y que la composición exacta de una entrada en particular puede ser algo diferente en la realidad.

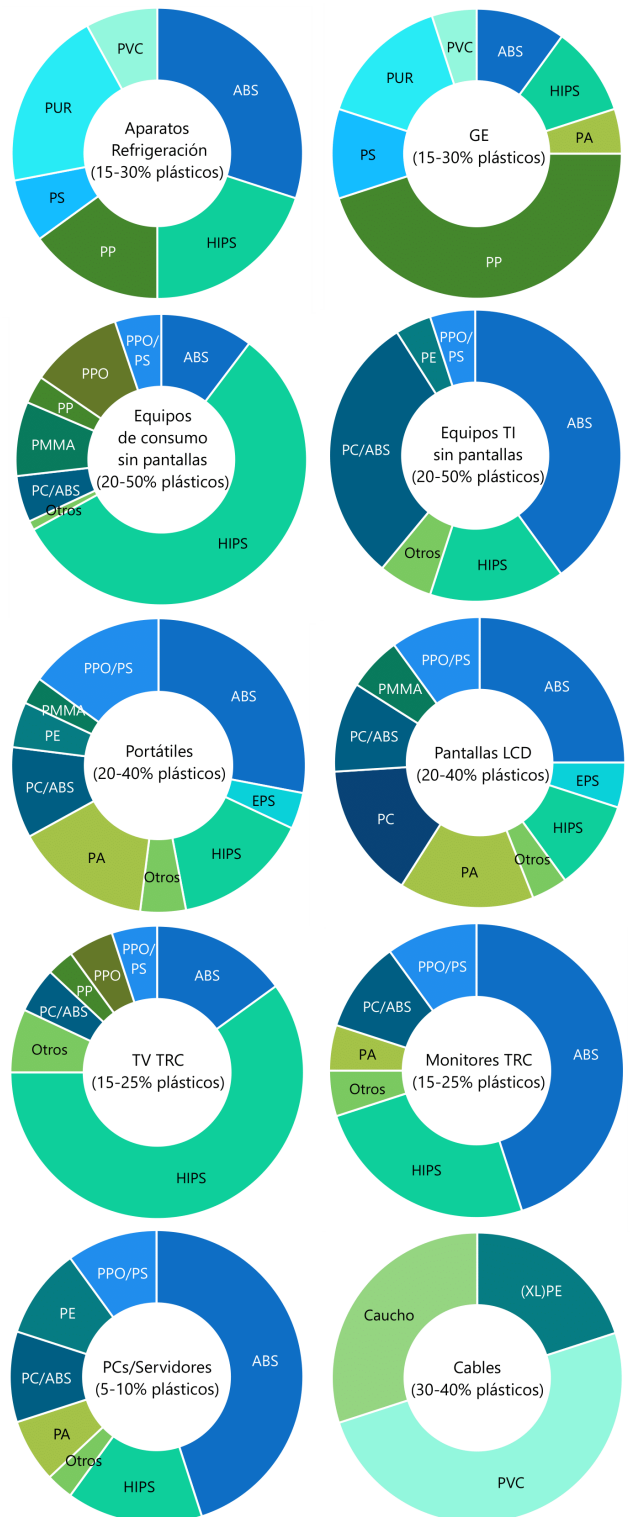


Figura 2: Composición promedio de plástico de algunas categorías de RAEE

⁴ Información de la composición basada en la literatura (Wäger et al. 2010) y análisis de lotes en instalaciones de RAEE en Suiza



	ABS	HIPS	PP	PS	PE	ABS+PC	PVC
Pantallas TRC	x	x				x	
Pantallas planas	x	x				x	
Equipos TI	x	x				x	
Grandes Electrodomésticos	x	x	x	x			
Aparatos de enfriamiento y congelación	x	x	x	x			
Aparatos electrónicos pequeños	x	x	x				
Cables					x		x

Tabla 1: Aditivos peligrosos en los principales tipos de plástico obtenidos de varias categorías de RAEE. Rojo: concentración de BFR potencialmente por encima del umbral legal, azul: concentración de metales pesados potencialmente por encima del umbral legal, negro: concentraciones de aditivos peligrosos generalmente por debajo del umbral legal.

El origen de una parte plástica puede usarse como un indicador de la posible presencia de aditivos problemáticos. Los BFR, por ejemplo, generalmente se encuentran por encima del umbral legal en plásticos ABS y HIPS de equipos de TI, pantallas y pequeños dispositivos electrónicos (ver Tabla 1).

Métodos sencillos para la identificación del plástico.

Las figuras y la tabla de arriba son útiles para reducir la lista de tipos de plástico que podrían contener y determinar la posible presencia de aditivos peligrosos. Sin embargo, para identificar realmente los tipos de plástico y separarlos correctamente, se necesitan métodos adicionales. Una posibilidad es realizar pruebas sencillas que se pueden hacer manualmente y, por lo tanto, accesibles para todos.

Etiqueta ISO

De acuerdo con la norma ISO 11469, las partes de plástico que pesen más de 100 gramos deberían estar marcadas de forma visual. Estas marcaciones a veces son difíciles de encontrar e interpretar, pero pueden proporcionar información útil. Una marcación completa consta de 4 términos que indican el tipo de plástico, materiales de relleno (cargas), plastificantes y retardantes de llama. La Figura 3 muestra el orden correcto de una marcación completa y cómo se debe interpretar.

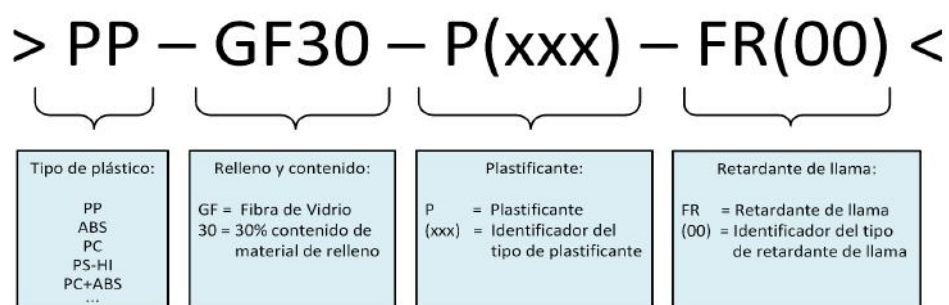


Figura 3: interpretación por la identificación de ISO

- Las letras GF en una etiqueta ISO se refieren a la presencia de fibra de vidrio como material de relleno o carga. Esto puede ser problemático en el proceso de reciclaje. (Ver sección 1 sobre aditivos)
- Los identificadores de Retardantes de llama 14, 15 y 18-21 pueden indicar BFR peligrosos. Las piezas de plástico con estas marcas deben retirarse y gestionarse adecuadamente.
- Los plásticos RAEE a menudo están sin marca, mal marcados o solo muestran etiquetas incompletas. Por lo tanto, la información obtenida de una etiqueta ISO debe usarse con precaución.



Prueba de hundimiento / flotación

La densidad de un plástico depende del tipo y la presencia de ciertos aditivos. Es posible utilizar estas características para separar los plásticos más livianos de los más pesados. Por ejemplo, en agua dulce (densidad = 1.0 kg/L), solo flotan los plásticos muy livianos, mientras que los plásticos pesados y de peso medio se hunden. Al agregar sal al agua se aumentará la densidad de la solución y también causará una leve flotación de los plásticos más pesados. Los rangos de densidad en la Figura 4 pueden usarse para determinar cuáles plásticos flotarán en una solución específica y también para diseñar pruebas de hundimiento/flotación que faciliten la separación de los tipos de plástico de diferentes densidades. La prueba de hundimiento / flotación requiere solo un balde, agua y algo de sal. La parte difícil es producir una solución con la densidad adecuada. Una forma de hacerlo es agregar una cantidad predefinida de sal al agua. Por ejemplo, se puede obtener una solución con una densidad de 1.1 kg/L agregando cualquiera de las siguientes sales, disponibles comercialmente, por litro de agua:

- 150 gramos de sal de mesa (NaCl) o
- 180 gramos de cloruro de potasio (KCl) o
- 110 gramos de sulfato de magnesio (MgSO_4)

Opcionalmente, se puede usar un hidrómetro (ver Figura 5) para preparar soluciones de agua salada. Los hidrómetros flotan a niveles específicos de acuerdo con la densidad de la solución. Se pueden usar para preparar soluciones de cualquier densidad basadas en cualquiera de las sales mencionadas anteriormente. Adicionalmente, los hidrómetros pueden emplearse para monitorear la solución durante su uso en pruebas de hundimiento / flotación. Esto es particularmente útil porque la densidad de la solución puede cambiar con la temperatura y debido a la introducción de suciedades o de materiales extraños. Monitorear y ajustar continuamente la densidad (agregando más sal o agua) conduce a obtener mejores resultados en la separación del plástico. Se pueden encontrar hidrómetros económicos en los mercados en línea.

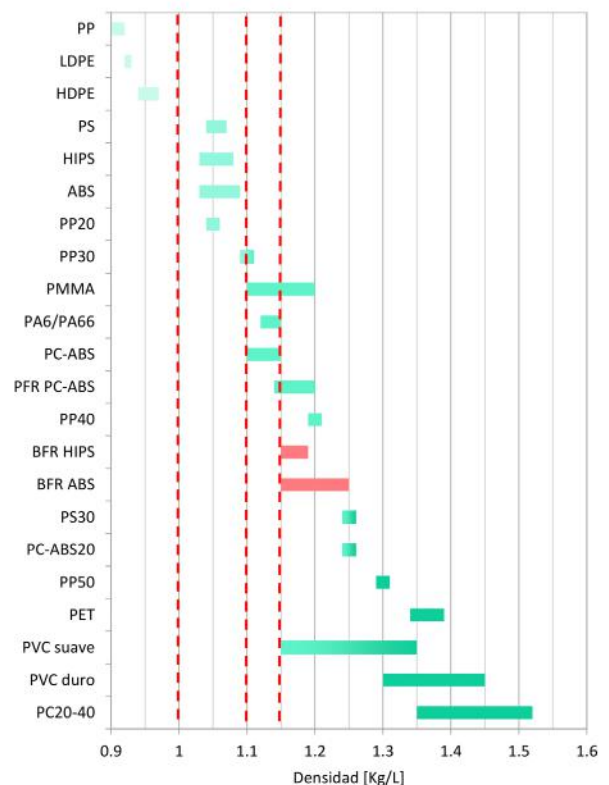


Figura 4: Rangos de densidad de plásticos RAEE



Figura 5: Hidrómetro



La Figura 6 muestra dos aplicaciones prácticas para pruebas de hundimiento / flotación que son particularmente útiles en el caso de los plásticos de RAEE. Estas pueden ser usadas para reconocer los principales plásticos de los RAEE y para separar las fracciones que contienen BFR de las libres de BFR. Con base en los rangos de la densidad del plástico de la Figura 4, estos procesos también pueden adaptarse y desarrollarse para identificar otros tipos de plástico.

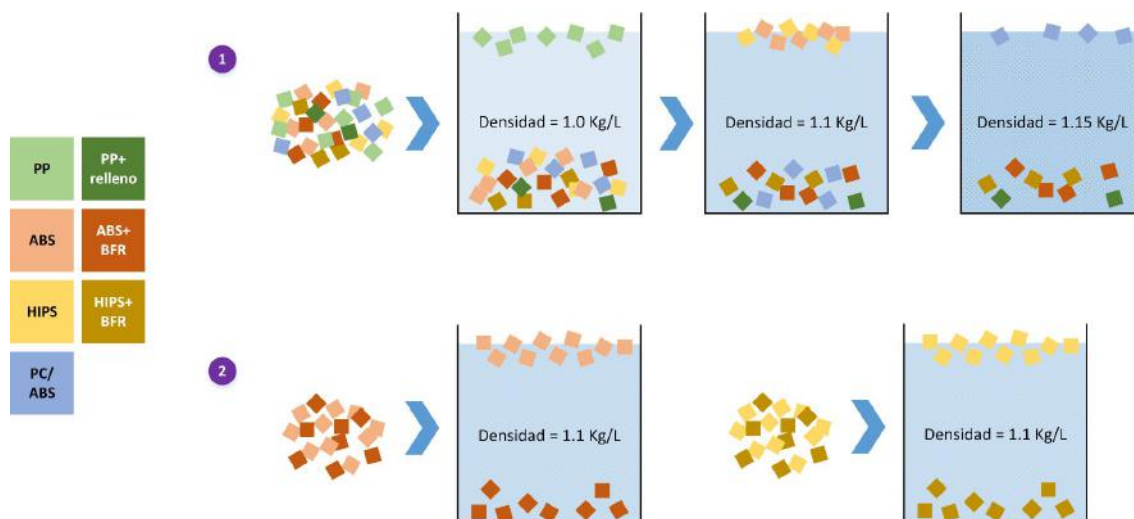


Figura 6: Aplicaciones prácticas de pruebas de hundimiento / flotación para la clasificación de plásticos RAEE

Aplicación 1: valores de densidad para separación de plásticos RAEE

Se pueden utilizar tres valores de densidad para identificar y separar los principales plásticos de RAEE:

- **agua dulce (densidad = 1 kg/L):**
Si el plástico flota en agua dulce, puede ser PP o PE (sin cargas). Debido a que el PE rara vez está presente en los RAEE, se puede suponer que los plásticos flotantes son principalmente PP.
- **solución de agua salada 1 (densidad = 1.1 kg/L)**
Los plásticos que se hunden en agua dulce, pero flotan en la primera solución de agua salada son probablemente ABS o HIPS, ya que estos son los principales plásticos RAEE con densidades entre 1.0 kg/L y 1.1 kg/L.
- **solución de agua salada 2 (densidad = 1.15 kg/L):**
Los plásticos que se hunden en la primera solución de agua salada, pero flotan en la segunda, son generalmente ABS / PC, ya que este es el principal plástico RAEE en este rango de densidad.

Aplicación 2: identificación y eliminación de plásticos BFR

Se puede usar una solución con una densidad de 1.1 kg/L para separar el ABS o HIPS que contiene BFR del ABS o HIPS sin BFR. La presencia de BFR aumenta la densidad de estos plásticos como se puede ver en la Figura 4. ABS y HIPS que contienen BFR se hunden en esta solución, mientras que los plásticos libres de BFR flotan.

Cuando los métodos de hundimiento / flotación son usados para probar piezas plásticas específicas, se puede cortar una parte para hacer la prueba en un balde pequeño. Este tipo de prueba solo requiere pequeñas cantidades de sal y agua. Sin embargo, la clasificación eficiente y sistemática de fracciones de plástico basadas en procesos de hundimiento / flotación solo es posible con material de entrada que ha sido previamente triturado o reducido en tamaño. Además, se requieren recipientes mucho más grandes y mayores cantidades de sal y agua para implementar tales aplicaciones.



Prueba de propiedades físicas

Otra forma de obtener información e identificar los tipos de plástico es probando las propiedades físicas como la dureza, el comportamiento al romperse o la reacción a solventes específicos. Los trabajadores con experiencia en desensamble y separación pueden hacer suposiciones basadas en el origen de una pieza de plástico y luego verificarlas utilizando pruebas sencillas. Con el entrenamiento y la práctica adecuada, se pueden lograr buenas tasas de separación con esta metodología.

Reacción a solventes

No todos los plásticos reaccionan de la misma manera a los solventes. Las siguientes pruebas se basan en solventes no peligrosos y disponibles comercialmente que pueden usarse para identificar ciertos tipos de plástico.

- El limoneno es un disolvente natural que se encuentra principalmente en la piel de ciertas plantas y frutas, incluidos los limones y las naranjas. Solo PS y HIPS reaccionan con el limoneno. Cuando se aplican unas gotas de limoneno a estos plásticos, se disuelven lentamente y se vuelven pegajosos después de 2-3 segundos.
- La acetona es otro solvente disponible comercialmente. Es menos selectivo que el limoneno y reacciona con PS, HIPS, ABS, ABS + PC y PC. Cuando se aplica acetona a PS, HIPS o ABS, los plásticos se disuelven y se vuelven pegajosos después de 2-3 segundos. El ABS / PC también se vuelve pegajoso y, adicionalmente, se forma un depósito blanco debido a la presencia de PC. En el caso de PC puro, se forma depósito blanco sin hacerse pegajoso.

- La acetona generalmente se puede comprar en farmacias o ferreterías.
- Si no se puede encontrar acetona pura, algunos quitaesmaltes que contienen acetona en sus ingredientes podrían servir como sustituto.
- El limoneno es más difícil de conseguir. Sin embargo, a menudo se vende en tiendas de impresión 3D y también se puede encontrar en los mercados en línea.

Flexibilidad / ruptura

Una simple prueba de ruptura ayuda a distinguir ciertos plásticos. Por ejemplo, el PS es rígido y se rompe fácilmente. El HIPS se dobla y mostrará marcas blancas en la ruptura, pero es realmente difícil romperlo.

Dureza

Algunos plásticos son más duros que otros. PE es bastante suave y muestra marcas cuando se rasguña con una uña. El PP es más duro y, por lo tanto, más difícil de rayar.

Sonido cuando se golpean

Los plásticos tienen diferentes sonidos cuando son golpeados. Dado que los sonidos son difíciles de describir, es mejor probarlo uno mismo con plásticos de tipo conocido. Este tipo de prueba funciona mejor con piezas más grandes (por ejemplo, carcasas enteras).



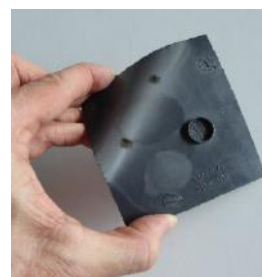
Reacción "pegajosa" a los solventes



Depósito blanco causado por la reacción de acetona con PC



PS roto



HIPS doblado



PE rayado



Identificación sistemática de plásticos

Mediante el estudio del sector informal de reciclaje de plásticos en la India, el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (Empa) desarrolló una metodología para identificar sistemáticamente los principales tipos de plásticos RAEE y detectar la presencia de BFR⁵. Esta metodología, que se muestra en la Figura 7, se basa en las pruebas de propiedades físicas y métodos de hundimiento / flotación descritas anteriormente. Si bien sería ineficaz aplicar pruebas completas en cada pieza de plástico en un proceso industrial, la metodología se puede utilizar para identificar partes plásticas específicas y así obtener información sobre el material de entrada. Además, puede servir como una herramienta útil para capacitar a los trabajadores de desensamble y separación, sobre cómo reconocer los principales tipos de plástico de RAEE. Con experiencia, estas pruebas sencillas solo deben realizarse de vez en cuando, mientras que la mayoría de las piezas de plástico se pueden separar de manera eficiente y con buenos resultados de separación sin pruebas exhaustivas.

1. Prueba del limoneno

La prueba del limoneno se puede usar primero para reconocer los plásticos PS y HIPS.

2. Prueba de ruptura

Una prueba de ruptura permite distinguir aún más entre PS y HIPS. El PS se rompe fácilmente mientras el HIPS se dobla y aparecen marcas blancas en la ruptura.

3. Prueba de acetona

Los plásticos que no reaccionaron con el limoneno se prueban con acetona. ABS, ABS / PC y PC se pueden distinguir en función de su reacción a la acetona como se indica en la Figura 7.

4. Prueba de hundimiento / flotación en agua dulce (1.0 kg/L)

Se aplica una prueba de hundimiento / flotación en agua dulce sobre los plásticos restantes. La fracción flotante consiste en plásticos ligeros (PP y PE). Los plásticos que no reaccionaron a ninguno de los solventes y que se hundieron en agua dulce no son ninguno de los principales plásticos RAEE y no se identifican con este método.

5. Prueba de rasguño

Los plásticos de PE y PP flotan en agua dulce. En general, las piezas flotantes están hechas de PP, ya que el PE no suele estar presente en AEE. Para asegurarse, se puede usar una prueba de rasguño. El PE es más blando y se puede rayar fácilmente con una uña. El PP es más duro y es más difícil dejarle marcas de arañazos.

6. Prueba de hundimiento / flotación en agua salada (1.1 kg/L)

Algunos de los plásticos ABS y HIPS, previamente identificados con solventes, contienen BFR peligrosos y deben eliminarse. Esto se puede lograr usando una prueba de hundimiento / flotación en agua salada. Cuando los BFR están presentes, el plástico es más pesado y se hunde en agua salada con una densidad de 1.1 kg/L. El ABS o el HIPS sin BFR, por otro lado, flotarán en esta solución.

⁵ A. Haarman & M. Gasser, Managing hazardous WEEE plastic additives in the Indian informal sector, 2016. Enlace web: <https://www.dora.lib4ri.ch/empa/islandora/object/empa:18490>

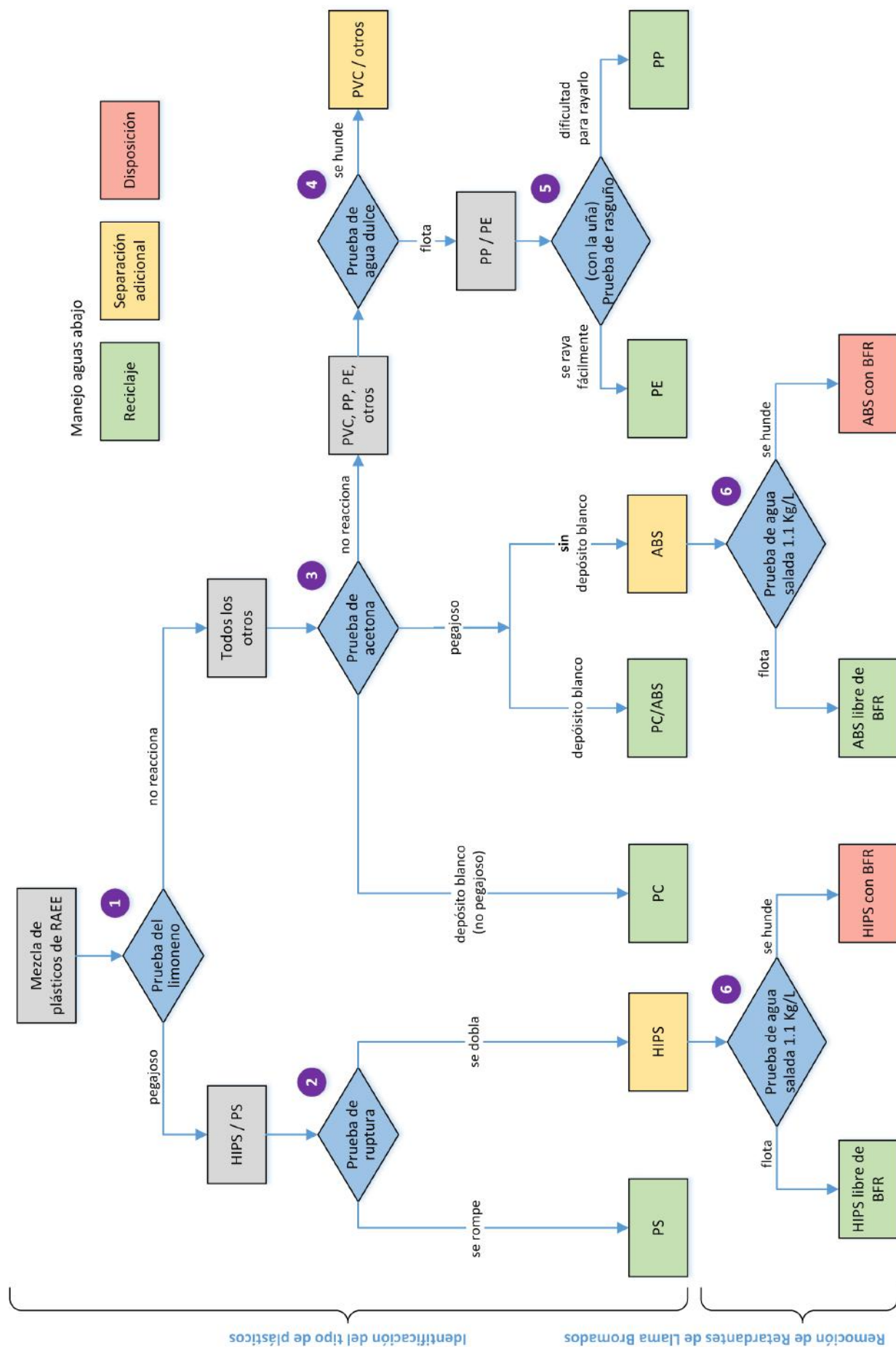


Figura 7: Identificación sistemática de plásticos de RAEE. (Fuente: Empa 2016)





Tecnologías avanzadas de identificación y separación

Cuando las cantidades de plásticos manejadas son bajas o irregulares, la separación manual basada en los métodos presentados anteriormente suelen ser la mejor opción. Sin embargo, si una empresa procesa grandes cantidades de material de entrada de forma regular y tiene acceso a la financiación requerida, el uso de tecnologías avanzadas de identificación y clasificación puede llegar a ser económicamente interesante. Este es especialmente el caso en entornos donde los costos de mano de obra son altos, ya que el uso de tales tecnologías implica menos mano de obra intensiva en el proceso de separación.

Dispositivos manuales para identificación

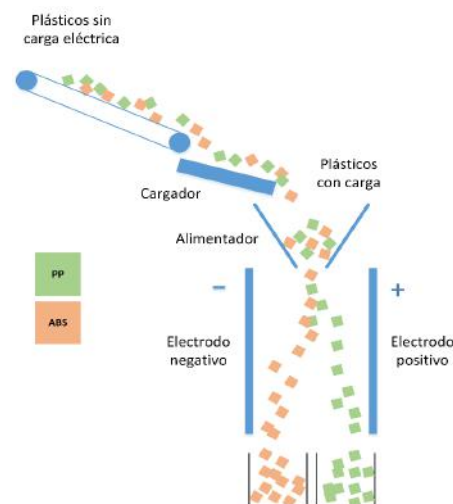
Hay varios dispositivos portátiles disponibles que pueden identificar el tipo de plástico y / o la presencia de aditivos peligrosos. Existen diferentes tecnologías con sensores basados en rayos láser (LIBS), rayos X (XRF) y ondas de infrarrojo cercano (NIR). Estos dispositivos son costosos, pueden romperse fácilmente y requieren capacitación para ser utilizados, pero son eficientes y precisos y pueden identificar muchos plásticos y aditivos diferentes.



Dispositivo portátil de identificación de plástico

Identificación y clasificación semiautomática

Los plásticos reaccionan de manera diferente a la carga electrostática. Los separadores electrostáticos usan esto para separar plásticos automáticamente. Estos separadores pueden procesar más de 1000 kg de plásticos por hora. Sin embargo, son equipos que requieren que se realice una separación previa a la entrada (es decir, se obtienen los mejores resultados con solo dos tipos de plástico como entrada) con un tamaño homogéneo (es decir, los plásticos deben ser triturados primero). Los separadores electrostáticos requieren cierta cantidad de espacio operativo e incurrir en costos de operación continuos debido al consumo de energía. Invertir en un dispositivo de este tipo solo tiene sentido si se cuenta con grandes cantidades constantes. Esta tecnología también es sensible a la humedad y a ciertas sales. Cuando se combinan métodos de hundimiento / flotación con separación electrostática, no se deben usar sal de mesa (NaCl) ni Cloruro de Potasio (KCl) y, solo se debe alimentar la máquina con material bien seco.



Separación electrostática de plástico.

Identificación y clasificación automatizadas

Las líneas de procesamiento totalmente automatizadas combinan varias tecnologías (por ejemplo, sensores ópticos, tecnología XRT, etc.) que permiten la clasificación automática de plásticos por tipo, color y contenido de aditivo. Tal instalación es altamente eficiente pero también muy costosa, por lo tanto, solo debe considerarse en situaciones donde es muy alto el costo de la separación manual y los medios financieros son suficientes para cubrir la gran inversión.



Línea de clasificación de plástico totalmente automática.



Mercados y clientes potenciales

Después de determinar qué plásticos se pueden obtener de un determinado lote de entrada y cómo se pueden reconocer y separar estos plásticos, las empresas de reciclaje deben identificar los mercados para sus productos. Existe una gama de clientes potenciales, desde pequeños procesadores de plástico locales hasta grandes empresas manufactureras internacionales. No todas las industrias están interesadas en los mismos plásticos ni todos los clientes prefieren el mismo nivel de preprocesamiento. Algunos querrán tomar fracciones plásticas mezcladas, otros pedirán carcasas completas o tipos de plástico específicos, y otros querrán fracciones puras y trituradas, o incluso material peletizado. Antes de decidir qué procesos implementar, las empresas de reciclaje deben investigar qué productos se pueden vender mejor y, de acuerdo con eso, definir su modelo de negocio.

Sectores específicos para el uso de plásticos

Debido a las diferencias en sus propiedades físicas (resistencia, flexibilidad, dureza, etc.), la demanda de plásticos específicos depende del sector industrial. Por lo tanto, un buen lugar para comenzar es contactar a las asociaciones de productores de industrias en las que se utiliza comúnmente el plástico proveniente de empresas de reciclaje. Los administradores de tales organizaciones a menudo pueden proporcionar información sobre cuáles de sus miembros podrían estar interesados en comprar fracciones plásticas específicas. Evidentemente, una industria que puede procesar potencialmente cualquier tipo de plástico de RAEE es la industria de AEE, por lo tanto, debe contactarse primero.



La industria AEE puede procesar todo tipo de plástico RAEE reciclado.

En la Figura 8 se muestran otras industrias que podrían comprar plásticos RAEE junto con los tipos de plástico en los que cada sector podría estar interesado. Los plásticos de RAEE no deberían venderse a industrias que fabrican juguetes o productos que entran en contacto con alimentos y agua. Aunque algunos de los plásticos que contienen aditivos peligrosos se pueden separar, la eliminación del 100% de estas sustancias es prácticamente imposible. Cuando los plásticos RAEE reciclados terminan en juguetes o productos tales como envases de alimentos o bidones de agua potable, los consumidores están expuestos a los contaminantes residuales que representan un riesgo para la salud.



Figura 8: Tipos de plásticos usados en diferentes sectores industriales



Requisitos para el preprocesamiento

El grado de preprocesamiento que debe implementarse depende de las preferencias del cliente. Si bien cada paso adicional le agrega valor al producto final, las inversiones en preprocesamiento solo tienen sentido siempre y cuando exista una demanda del mercado para el producto obtenido. Antes de invertir en una tecnología, las empresas de reciclaje deben recopilar información sobre los requisitos del cliente y los precios que se pueden obtener para diferentes productos.

Carcasas enteras

- **Mezcladas:** las empresas de reciclaje de plástico pueden estar interesadas en comprar plásticos de RAEE para luego ser separado y procesado por ellos mismos.
- **Clasificadas a mano:** Las PyME que producen piezas plásticas a menudo pueden pre-procesar los plásticos porque suelen lidiar con materiales que se acumulan durante el proceso de fabricación (productos defectuosos, restos del proceso de fabricación, etc.) Es posible que estos fabricantes no quieran pagar precios más altos por material triturado y prefieran comprar carcasas enteras de un tipo de plástico específico.

Plásticos triturados

- **Mezclados y sucios:** Las compañías de reciclaje de plástico, que tienen el equipo para separar plásticos triturados y mezclados, llamados hojuelas o escamas, podrían comprar tal fracción.
- **Clasificados y sucios:** las PYME que producen piezas de plástico con requerimientos de baja calidad (ej. postes para cercas, sillas, etc.) en ocasiones usan en su proceso de fabricación plásticos triturados y separados, pero sin lavar. Otros compradores potenciales podrían ser las compañías de reciclaje de plástico especializadas en refinar plásticos triturados para obtener material peletizado y formulado.
- **Separadas y limpias:** Los fabricantes que producen productos de mayor calidad, que pueden trabajar con plásticos triturados en lugar de material peletizado, querrán comprarlos separados y limpios.

Material peletizado

Las compañías internacionales que fabrican plástico requieren, en general, de material reciclado peletizado y formulado de alta calidad. Cuando se vende plástico peletizado, se debe mantener un circuito de retroalimentación con el comprador para mejorar continuamente la formulación y la calidad del producto suministrado.

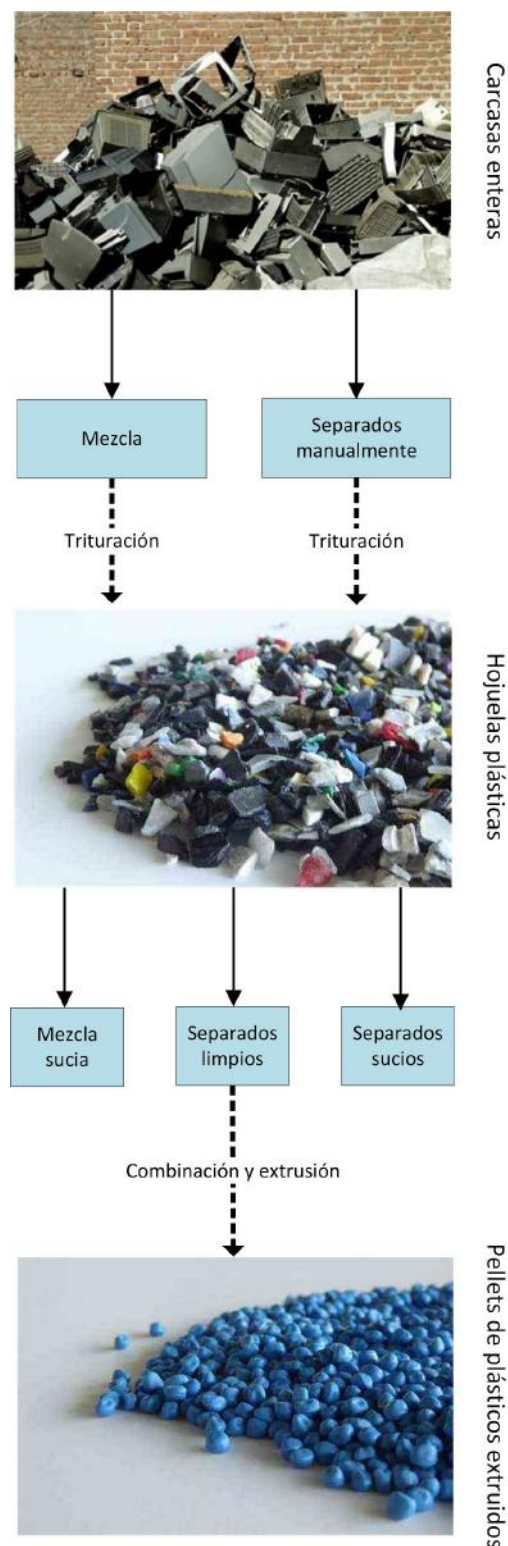


Figura 9: plásticos de RAEE preprocesados



Leyes y regulaciones

En algunos países hay muchos fabricantes de plástico, pequeños y grandes, que procesan casi cualquier tipo de plástico. En otros, el mercado de plásticos reciclados es muy reducido y las empresas de reciclaje podrían considerar exportar algunos de sus productos. En ambos casos, hay leyes y regulaciones que deben considerarse, pues determinan los valores límite para sustancias peligrosas en plásticos (BFR y metales pesados) y regulan su exportación y comercio. A todas las empresas les conviene asegurarse que sus productos cumplan legalmente, ya que esto les permitirá alcanzar mejores mercados a nivel nacional e internacional. Usando métodos sencillos como los descritos anteriormente (preselección manual y prueba de hundimiento / flotación), los niveles de sustancias peligrosas pueden, en general, ser reducidos por debajo de los valores límite legales con un esfuerzo razonable.

Leyes nacionales y regulaciones

Las leyes y regulaciones nacionales sobre aditivos peligrosos en plásticos reciclados pueden variar entre países. La información sobre tales regulaciones y los valores límite legales que se aplican actualmente, se puede obtener de las autoridades nacionales de ambiente o industria.

Normas y tratados internacionales

Hay diversas normas internacionales que definen los valores límite para sustancias peligrosas en productos plásticos y que regulan las exportaciones y el comercio de fracciones plásticas peligrosas:

Valores límite: Regulación UE: Directiva de Restricción de Sustancias Peligrosas (RoHS)⁶

- 1000 ppm (0.1%) valor límite para varios BFR (PBBs & PBDEs)
- 1000 ppm (0.1%) valor límite para varios metales pesados (Pb, Hg, Cr)
- 100 ppm (0.01%) valor límite para cadmio (Cd)

Estándar europeo de tratamiento de RAEE EN/TS 50625⁷

- 2000 ppm (0.2%) valor límite para el bromo total

Exportación: El movimiento transfronterizo de residuos peligrosos (incluidos los plásticos RAEE), está regulado por el Convenio de Basilea.⁸

- A partir del 1 de enero de 2021, las exportaciones de fracciones plásticas mezcladas (con la excepción de las mezclas de PE, PP, PET) requieren el procedimiento de Consentimiento Informado Previo (CIP)⁹. Este procedimiento establece que para realizar una exportación que contenga sustancias peligrosas, el país de destino debe otorgar el permiso antes de que el envío abandone el país de origen.
- Los procedimientos de CIP complican las exportaciones y a menudo las hacen imposibles. Estas complicaciones se pueden evitar exportando únicamente fracciones de plástico puro con contenidos de aditivos peligrosos por debajo de los niveles estandarizados internacionalmente.
- En el caso del PVC, incluso las fracciones puras estarán sujetas al procedimiento CIP. Esto se debe a que los PVC son plásticos halogenados, que a menudo contienen metales pesados como estabilizadores térmicos o en forma de pigmentos y, por lo tanto, se consideran peligrosos.

⁶ Más información disponible en el sitio web: https://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/legis_en.htm

⁷ El estándar europeo de tratamiento RAEE es desarrollado por el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica CENELEC. Más información disponible en el sitio web: <https://www.cenelec.eu/>

⁸ Más información disponible en el sitio web <http://www.basel.int/>

⁹ Más información disponible en el sitio web <http://www.pic.int/Procedures/PICProcedure/tabid/1364>



Diseño de proceso

Después de determinar los productos objetivo en función de los análisis de mercado e insumos, las empresas de reciclaje deben diseñar procesos para separar y procesar eficientemente sus plásticos de acuerdo con los requisitos del mercado. Varios factores, como la disponibilidad de material de entrada, los medios financieros de la compañía, los costos laborales locales, etc., determinarán qué procesos pueden implementarse de manera costo eficiente. El proceso de diseño óptimo es el que conduce a la calidad requerida del producto (pureza, eliminación de aditivos indeseables) y presentación (carcasas, hojuelas, pellets) al costo más bajo.

Pre-separación manual

El personal de desensamble y clasificación puede identificar y separar muchas partes de plástico, basados en la experiencia y las pruebas ocasionales. Un equipo de trabajadores bien capacitado alcanzará altas tasas de separación con una clasificación previa puramente manual, lo cual podría ser suficiente para ciertos clientes. Incluso si se emplea más adelante la separación por densidad o tecnologías de clasificación avanzadas, la clasificación manual realizada previamente puede mejorar significativamente la eficiencia de la separación. Además, la clasificación de los plásticos por color se puede hacer antes de aplicar cualquier reducción de tamaño, por consiguiente, se podrán obtener mejores precios de mercado para las fracciones obtenidas de un solo color. En esta etapa, también se puede considerar el uso de dispositivos de identificación portátiles para mejorar el potencial de detección de aditivos problemáticos y simplificar la identificación de los tipos de plástico. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que dichos dispositivos son costosos y requieren un mantenimiento regular.

Embalaje

Cuando se vayan a vender o transportar carcasas completas a otras instalaciones, las compañías de reciclaje podrían considerar comprar una prensa hidráulica para embalar tales fracciones y facilitar su transporte. La reducción significativa del volumen reducirá tanto el costo de transporte como el espacio de almacenamiento requerido.



Izquierda: Máquina de embalaje
Derecha: Trituradora de plástico

Reducción de tamaño

En los casos que no se requieren las carcasas completas, se debe realizar una reducción de tamaño para el procesamiento posterior del plástico. Pruebas como las de hundimiento / flotación, así como tecnologías avanzadas de separación, requieren de entradas similares y tamaños relativamente pequeños. Adicionalmente, al reducir las carcasas de plástico voluminosas a piezas de menor tamaño, se logran también ahorros en espacio de almacenamiento y costos de transporte. Esta reducción de tamaño se puede lograr fácilmente utilizando una trituradora de plástico que producirá hojuelas de tamaño uniforme de 3 a 8 mm, según el modelo. Las trituradoras de plástico de diferentes tamaños y rendimientos están disponibles en los mercados en línea.

- La reducción de tamaño es a menudo un requisito necesario para el procesamiento posterior, además, disminuye el costo de transporte y el espacio de almacenamiento requerido.
- Las trituradoras de plástico son útiles para procesar grandes volúmenes, ya que incluso las trituradoras pequeñas generalmente tienen capacidades de 100-200 kg / hora. Estos altos rendimientos no son necesarios para las pequeñas empresas de reciclaje. Por lo tanto, puede ser interesante compartir una trituradora entre varias compañías para reducir los costos individuales.
- Dependiendo del costo de mano de obra, una alternativa viable a la trituración puede ser cortar plásticos en pedazos más pequeños a mano (por ejemplo, usando machetes, hachas o cizallas).



Separación de hundimiento / flotación

Los métodos de separación de hundimiento / flotación, presentados en la sección sobre identificación de plástico, pueden implementarse a gran escala en la separación de hojuelas de plástico trituradas. Si los plásticos ABS y HIPS se clasificaron de antemano, el proceso de separación de hundimiento / flotación se puede utilizar para eliminar eficientemente los plásticos que contienen BFR de estas fracciones. Otra posible aplicación es separar los plásticos triturados y mezclados en diferentes valores de densidad para procesarlos con tecnologías avanzadas de clasificación (por ejemplo, separación electrostática). Los siguientes valores de densidad podrían usarse para dicha aplicación:



Proceso de separación de hundimiento y flotación con escamas de plástico

Densidad < 1 kg/L:	PE y PP (sin cargas)
1 kg/L < densidad < 1.1 kg/L:	ABS y HIPS sin BFR, con algo de PS y PP (contenido medio de cargas)
1.1 kg/L < densidad < 1.15 kg/L:	PC / ABS con algo de PP (con alto contenido de cargas)
1.15 kg/L < densidad:	ABS y HIPS que contienen BFR, PVC, otros plásticos pesados

Lavado

Los plásticos RAEE a menudo contienen materiales extraños como suciedad o residuos de las etiquetas adhesivas. En general, la calidad del producto mejorará si estas impurezas se eliminan en una etapa de lavado. Se puede usar una solución básica (por ejemplo, a base de soda cáustica) y eliminar las aguas residuales a través de un sistema de alcantarillado industrial. Se pueden usar técnicas simples como un tanque de sedimentación para reutilizar el agua tanto como sea posible de manera que se mantengan bajos los costos operativos.

Clasificación automatizada basada en tecnologías avanzadas

Las tecnologías de clasificación semiautomatizadas o totalmente automatizadas a menudo se utilizan en países industrializados donde los costos de mano de obra son demasiado altos para justificar los procesos de clasificación manual. Si se dispone de altos flujos de material, mercados estables y los medios financieros para invertir en dichos equipos, podría considerarse el uso de procesos de clasificación basados en tecnología.

Formulación y extrusión

Si existe un mercado para pellets de plástico reciclado de alta calidad, las empresas de reciclaje podrían considerar implementar este paso final de procesamiento para aumentar aún más el valor de sus productos. El plástico triturado, separado y limpio, se mezcla con nuevos aditivos basados en los requisitos del cliente (formulación) y se alimenta a una extrusora donde el plástico se calienta y se forman piezas de composición y tamaño uniforme (material peletizado).



Extrusora de plástico en una instalación de reciclaje.

Leyes y regulaciones

El reciclaje de plástico es una actividad industrial y, como tal, está sujeto a las leyes y regulaciones locales. Los procesos que implemente una empresa determinarán que leyes y regulaciones aplican a su negocio. Si solo se realizan actividades manuales como el desensamble y la separación manual, los requisitos legales para una empresa pueden ser diferentes que cuando se utilizan equipos como trituradoras o separadores electrostáticos. Una empresa siempre debe investigar que leyes y regulaciones aplican a sus actividades para actuar respectivamente (e.j. obtener las licencias requeridas para su negocio).



Gestión de plásticos remanentes

Una vez que los plásticos objetivo han sido clasificados, procesados y vendidos, quedan como remanente los demás plásticos y las fracciones peligrosas. Las empresas de reciclaje deben encontrar una solución ambientalmente responsable para estos materiales sobrantes y deben asegurar que se eviten las malas prácticas como la disposición incontrolada y las quemas a cielo abierto.

Soluciones viables para plásticos no peligrosos

Existen varias posibilidades para valorizar, en caso de ser posible, o para eliminar fracciones plásticas no peligrosas para las cuales no se puede identificar un mercado específico. Como regla general, se debe priorizar la valorización del material, seguida de la valorización térmica y el relleno controlado.

Reciclaje

No todas las empresas de reciclaje se centran en los mismos tipos de plástico y es posible que algunos de los plásticos no-objetivo de una empresa puedan ser procesados por otra. Puede ser difícil obtener buenos precios debido a que algunos de los plásticos comercializables ya se han eliminado, pero, el reciclaje será siempre la mejor solución para los plásticos no peligrosos.



Reciclaie

Downcycling

Si bien el reciclaje de fracciones plásticas mezcladas da como resultado un material de baja calidad, algunos fabricantes podrían estar interesados en comprar plásticos mezclados a bajos precios para la fabricación de productos de baja calidad como compuestos de madera y plástico, sillas de plástico, postes, cercas, entre otros.



Downcycling

Material de relleno en infraestructura

Los residuos de plástico pueden utilizarse como relleno en materiales de construcción como el concreto o el asfalto. Aunque esta aplicación da como resultado una pérdida del plástico para recuperación y reciclaje, proporciona beneficios ambientales debido a la sustitución de las materias primas necesarias para la producción de estos materiales de construcción.



Material de relleno en infraestructura

Incineración controlada

Los plásticos tienen un alto poder calorífico y liberan cantidades importantes de calor cuando son quemados. Esta energía térmica se puede recuperar con el propósito de generar energía en plantas de incineración de residuos, o mediante el uso del plástico como combustible alternativo en industrias con uso intensivo de energía, como la fundición de metales y la fabricación de ladrillos o cemento. La quema de plásticos conduce a la liberación de humos tóxicos que contienen dioxinas y furanos, los cuales son peligrosos para la salud humana y el ambiente. Por lo tanto, la incineración del plástico solo puede considerarse como una buena práctica si se toman medidas adecuadas para el control de emisiones y para garantizar la calidad del aire. La viabilidad ambiental de la incineración de plástico es variable y debe evaluarse para cada situación particular.



Incineración controlada

Rellenos controlados

Si no se encuentra otra solución viable, se pueden considerar los rellenos sanitarios. Debido a que la presencia de plásticos aumenta el riesgo de incendios en rellenos y vertederos, solo se deben tener en cuenta los rellenos controlados (por ejemplo, rellenos sanitarios o rellenos de seguridad) que estén en capacidad de tomar las medidas necesarias para evitar incendios.



Relleno controlado



Soluciones viables para fracciones peligrosas

Las mejores técnicas disponibles (MTD) para la gestión y eliminación de fracciones peligrosas se definen a menudo a nivel internacional o nacional¹⁰. Sin embargo, en muchas regiones del mundo, estas MTD no son accesibles por el tipo de infraestructura requerida, por ejemplo, los incineradores o los rellenos de residuos peligrosos simplemente no existen. Identificar las mejores soluciones alternativas es a menudo un desafío, ya que los impactos a largo plazo de tales soluciones subóptimas son difíciles de evaluar y comparar.

Incineración de residuos peligrosos

La incineración a temperaturas muy altas (alrededor de 1100 ° C) destruye sustancias orgánicas peligrosas, incluidos los BFR. Los incineradores de residuos peligrosos funcionan a estas temperaturas e implementan un control de emisiones de última generación para eliminar los gases tóxicos y los metales pesados. En la actualidad, la incineración de plásticos que contienen sustancias como BFR y metales pesados, se consideran MTD.



Incineración MTD

Rellenos de seguridad para residuos peligrosos

Los rellenos de seguridad están equipados con mecanismos de control específicos para evitar que las sustancias peligrosas se dispersen en el ambiente. Tales rellenos a menudo tienen compartimentos separados, están equipados con revestimientos impermeables y un sistema de recolección de lixiviados, que deben manejarse adecuadamente. Los rellenos de seguridad proporcionan una solución de eliminación viable para BFR y plásticos que contienen metales pesados.



Relleno de seguridad

Material de relleno en infraestructura

El uso de plásticos que contienen sustancias peligrosas como rellenos en materiales de construcción puede ser una alternativa viable a las MTD de incineración o relleno de seguridad. El requisito es que las sustancias peligrosas se estabilicen dentro de la infraestructura, es decir, que no lixivien con el tiempo (por ejemplo, en vías pavimentadas).



Material de relleno en infraestructura

Reciclaje y downcycling

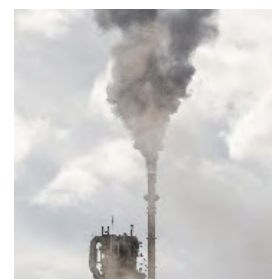
El reciclaje de plásticos con BFR en productos que requieren retardantes de llama, o, el reciclaje de fracciones plásticas peligrosas en productos en los que se estabilizan las sustancias tóxicas, pueden ser la solución más viable en regiones donde no hay acceso a la incineración de MTD o a los rellenos de seguridad. Si los plásticos peligrosos se reciclan de una manera u otra debido a la falta de acceso a mejores soluciones, se debe garantizar que esos plásticos solo se utilicen en productos de uso prologando y con una mínima exposición humana (por ejemplo, vigas de plástico utilizadas en la construcción).



Reciclaje y Downcycling

Incineración sin MTD

La incineración de fracciones de plástico que contienen BFR o PVC en incineradores sin MTD o su uso como combustibles alternativos puede conducir a varios problemas. Debido al efecto de retardante de llama de los halógenos, la combustión incompleta es a menudo un problema cuando las temperaturas no son lo suficientemente altas y no se logra la destrucción completa de los contaminantes



Incineración sin MTD

¹⁰ La guía MTD para plásticos que contienen PBDE (un grupo de BFR restringidos) se puede encontrar aquí: <http://chm.pops.int/implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortherecyclingofPBDEs/tabid/3172/>



orgánicos. Además, se forman gases ácidos (HCl y HBr) que son corrosivos y pueden dañar la infraestructura donde se incinera el plástico. Estos efectos corrosivos son especialmente problemáticos cuando los niveles de halógenos son superiores al 1%, como es el caso de los plásticos bromados y el PVC. Sin embargo, si se elige dicha solución para eliminar fracciones plásticas peligrosas, solo se deben incinerar pequeñas cantidades a la vez para mantener bajas las concentraciones de gases ácidos. Además, se debe considerar el tratamiento de gases de combustión (lavado seco o semiseco con absorbentes básicos) para eliminar los gases ácidos. La cantidad de COP que se liberan al ambiente cuando se aplica la incineración sin MTD puede ser muy variable y depende de la temperatura de combustión y los controles de emisiones (por ejemplo, medidas de reducción de dioxinas y furanos). El uso de plásticos peligrosos como combustible alternativo en un horno de cemento moderno, que funciona a altas temperaturas, podría estar cerca de las MTD en términos de impactos. Por otro lado, la incineración de la misma fracción en una vieja fundición de metal sin control de emisiones podría ser solo un poco mejor que la quema a cielo abierto.

Relleno sanitario

Un relleno sanitario estándar está equipado con un revestimiento impermeable y un sistema de control de lixiviados, y el relleno sanitario en dicha instalación puede considerarse una solución viable para fracciones plásticas peligrosas. Sin embargo, cuando estos controles faltan o son deficientes, las sustancias peligrosas pueden dispersarse en el ambiente. Aunque es mejor que la disposición incontrolada y la quema al aire libre, se debe evitar la eliminación de fracciones plásticas peligrosas en rellenos sanitarios.



Relleno sanitario

Buscando la mejor solución disponible

En muchas regiones del mundo, existen pocas o ninguna solución establecida para residuos plásticos y las fracciones que no pueden venderse a menudo terminan siendo arrojadas o quemadas a cielo abierto. Por lo tanto, las empresas de reciclaje de plástico deben ser proactivas en la identificación de la mejor solución disponible en su contexto local. Un buen primer paso es verificar cuáles de las infraestructuras antes mencionadas (rellenos, incineradores) e industrias (recicladores de plástico, fabricantes de plástico, industria de metales y cemento) existen a nivel regional o nacional. Una vez que se han identificado las soluciones potencialmente disponibles, deben evaluarse con respecto a la viabilidad ambiental, legal y financiera.

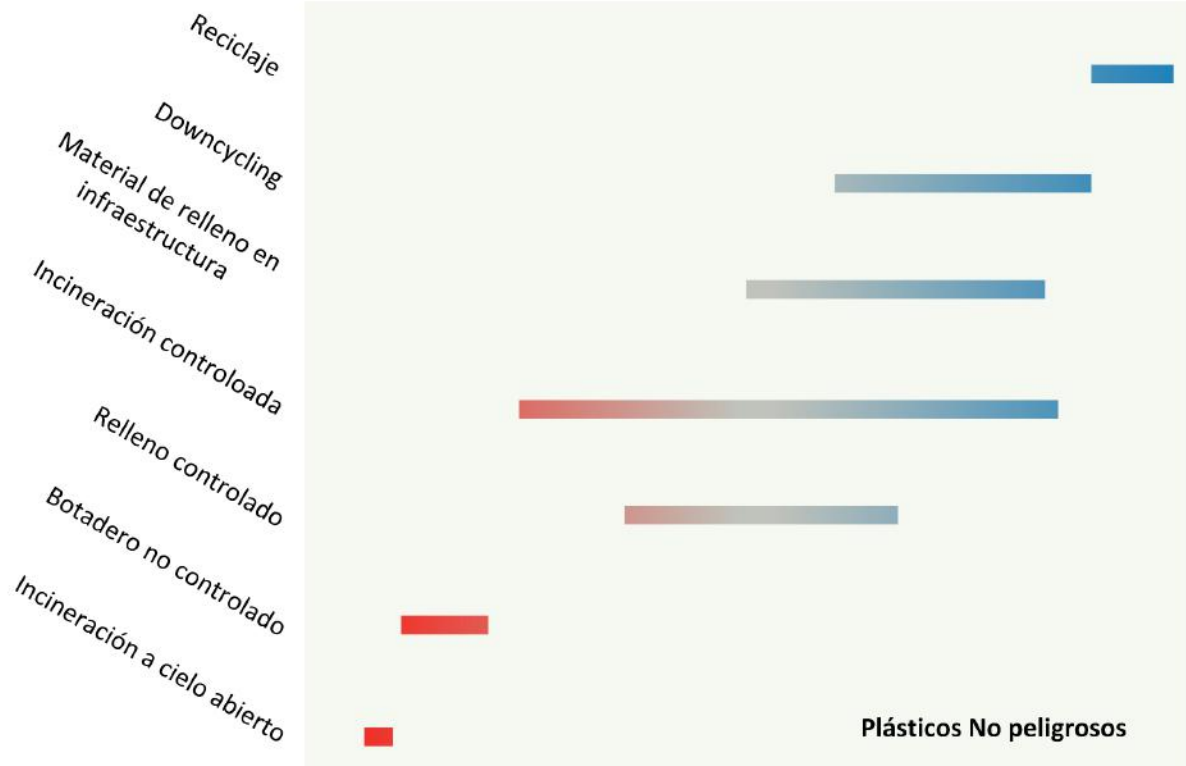
Viabilidad ambiental

La Figura 10 indica dónde se ubican las diferentes soluciones con relación a su viabilidad ambiental. Hay que distinguir entre soluciones para fracciones plásticas peligrosas y no peligrosas. La figura puede emplearse para comparar diferentes soluciones. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los impactos ambientales y de salud humana dependen de muchos factores y pueden ser muy variables.

Viabilidad legal

Antes de implementar una solución específica, se debe consultar a la autoridad ambiental local para verificar el cumplimiento de las leyes y regulaciones existentes con respecto a la solución elegida.

- Las compañías de reciclaje siempre deben tratar de identificar e implementar la mejor solución económicamente factible para las fracciones plásticas remanentes, para proteger la sociedad y el ambiente.
- Las soluciones implementadas deben respetar las leyes y regulaciones locales.
- Los plásticos no deben arrojarse al ambiente. No se degradarán en cientos de años.
- La quema de plásticos a cielo abierto libera humos tóxicos y daña tanto a las personas como al ambiente. Esta es la peor práctica y debe evitarse a toda costa.



Peores prácticas → Mejores prácticas

