

# Antes de comenzar nuestro webinar ...



INSTITUTO DE  
CAPACITACIÓN  
E INVESTIGACIÓN  
DEL PLÁSTICO Y  
DEL CAUCHO



Ubícate en un  
lugar cómodo



Prepárate un café  
o tu bebida favorita



Alista lápiz y papel  
para tomar nota



Desactiva tu micrófono  
para escuchar claramente  
la conferencia



Desactiva tu cámara  
para que la red funcione  
correctamente

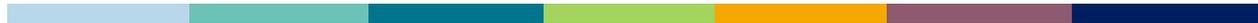


Dejar tus preguntas  
en el chat. Al final el  
ponente les dará respuesta



INSTITUTO DE  
CAPACITACIÓN  
E INVESTIGACIÓN  
DEL PLÁSTICO Y  
DEL CAUCHO

# Reciclaje Mecánico I y II





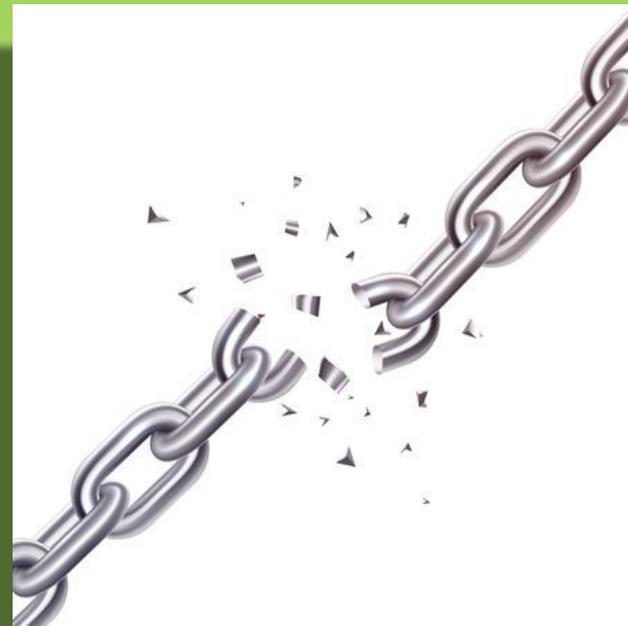
# Presentador:

## Ph. D. Omar Augusto Estrada Ramírez

- Director Técnico y Científico (e) del ICIPC.
- Investigador Senior en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología de Colombia
- Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Especialista en Procesos de Transformación del Plástico y del Caucho y Magíster en Ingeniería de Procesamiento de Polímeros del programa en convenio entre la Universidad EAFIT y el ICIPC.
- Doctor en Ingeniería con énfasis en Sistemas Energéticos de la Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas.
- Co-inventor de varias patentes otorgadas en Estados Unidos y patentes PCT.
- Coautor de software especializado del ICIPC con registros de soporte lógico ante la Dirección Nacional de Derecho de Autor en Colombia.
- Ponente en múltiples eventos y coautor de múltiples publicaciones científicas en el ámbito nacional e internacional.



# Sostenibilidad: un problema que requiere muchos eslabones



Un solo eslabón falla, y limita seriamente el alcance de la solución de sostenibilidad

# Lo que conocemos del reciclaje

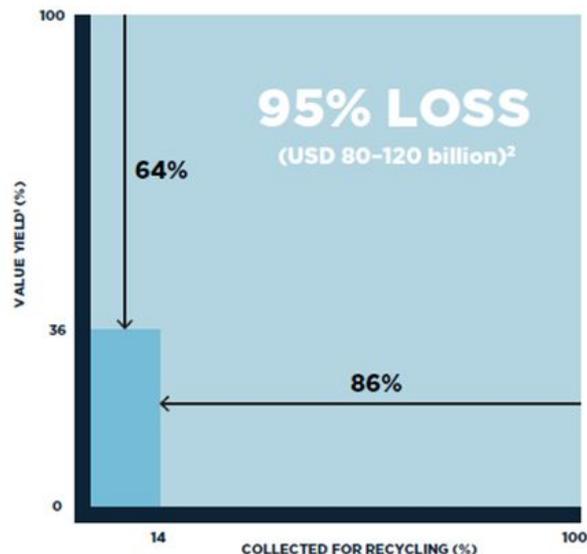
## REALIDAD ACTUAL:

Bajas tasas de recolección

Bajas tasas de reciclaje

Poca o ninguna separación

Productos cuyo valor es menor al del material original





# Lo que conocemos del reciclaje

## REALIDAD ACTUAL:



Reciclador

Plásticos: Pasta, Poste,  
Policolor, Tasa, etc.  
Picado, granulado,  
peletizado

Industrial



Especificaciones, Aplicaciones  
Polimeros (PE, PP, PS, PET, etc)  
Trazabilidad  
Certificados de Calidad  
Propiedades  
Inocuidad  
Extrusión, Inyección, Termoformado



# Los tres grandes sectores que preocupan por su impacto ambiental



Envases y empaques



Aparatos eléctricos y electrónicos



Textiles



# Los tres grandes sectores que preocupan por su impacto ambiental - Principales retos



Envases y empaques



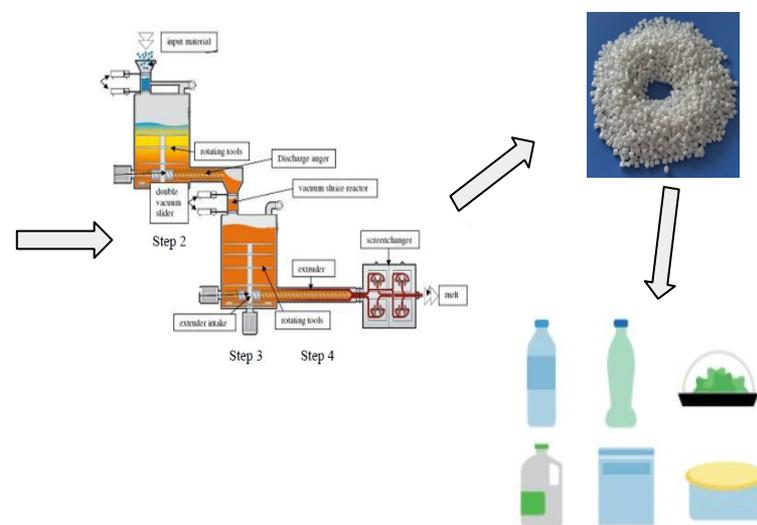
Aparatos eléctricos y electrónicos



Textiles

La pérdida de valor de los empaques es de 80-120 billones de USD/año. Sólo se recicla el 14%

- 40% del consumo de plásticos mundial son empaques y envases.
- El 60% son empaques para alimentos
- Se requieren Cartas de No Objeción y Conceptos Científicos para el uso de reciclados.
- Alta cantidad de empaques flexibles

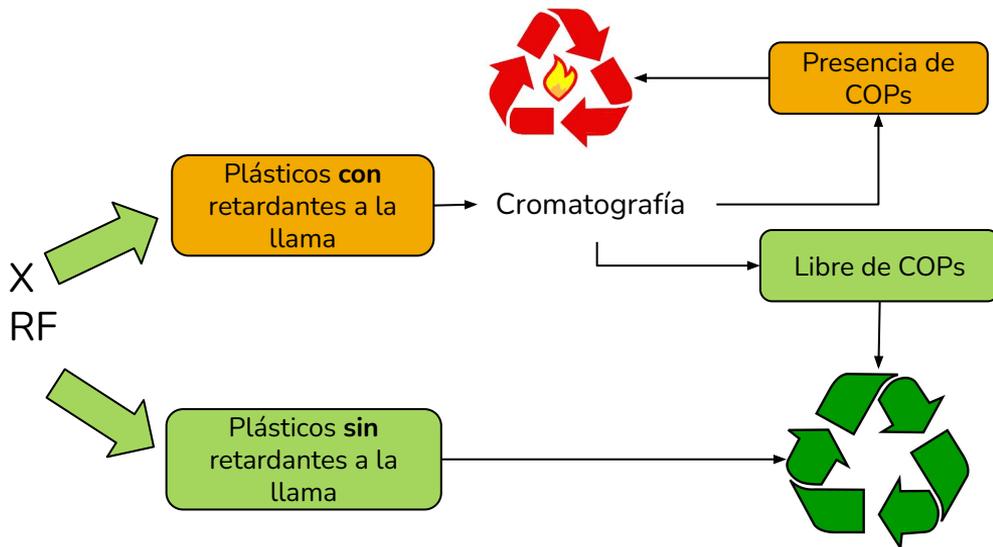


# Los tres grandes sectores que preocupan por su impacto ambiental - Principales retos



Sólo se recoge y se recicla aproximadamente el 20% de los RAEE's en el mundo.

- Muchos materiales diferentes.
- Muchas piezas tienen compuestos orgánicos persistentes (COPs) como retardantes a la llama polibromados (BFR's)
- Mezclas con metales y papel

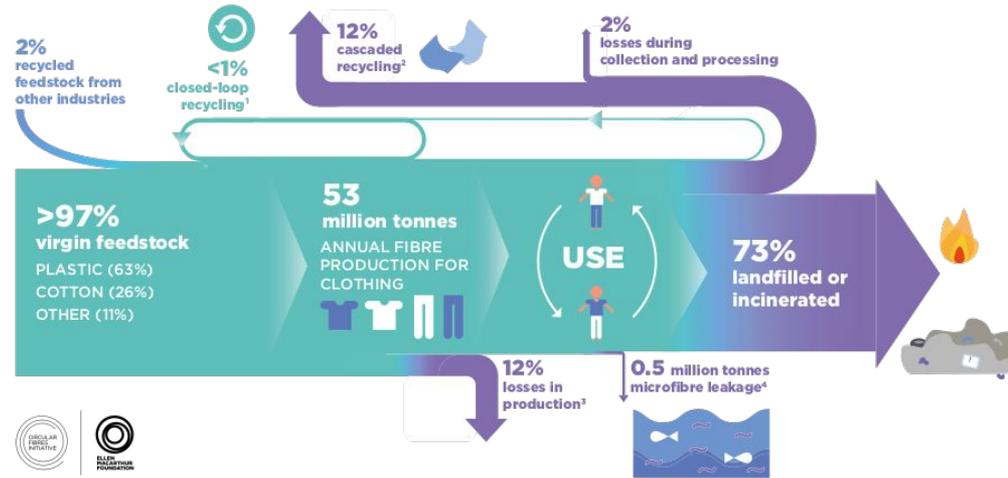


# Los tres grandes sectores que preocupan por su impacto ambiental - Principales retos

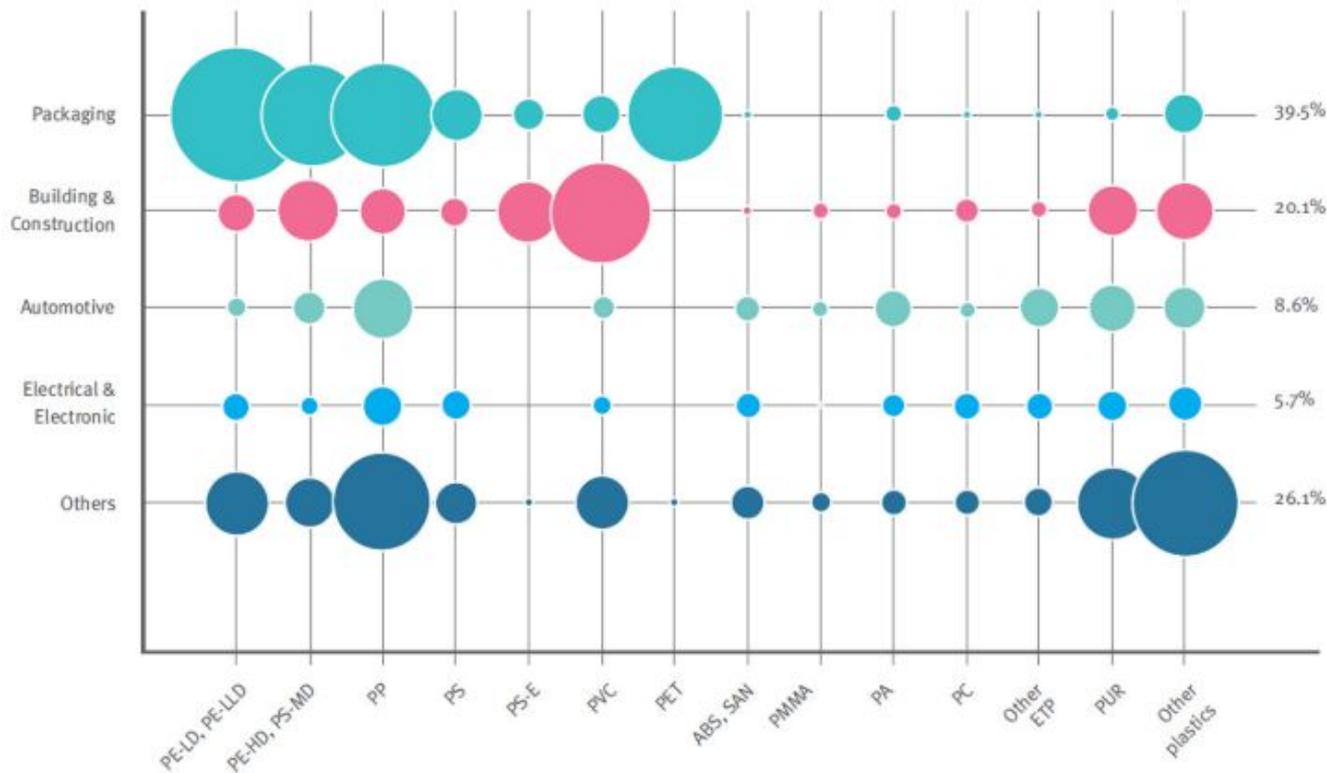
- Fibras y telas de composición compleja
- Mercado de “exclusividad”
- Desconocimiento de los procesos de reciclaje de plásticos.



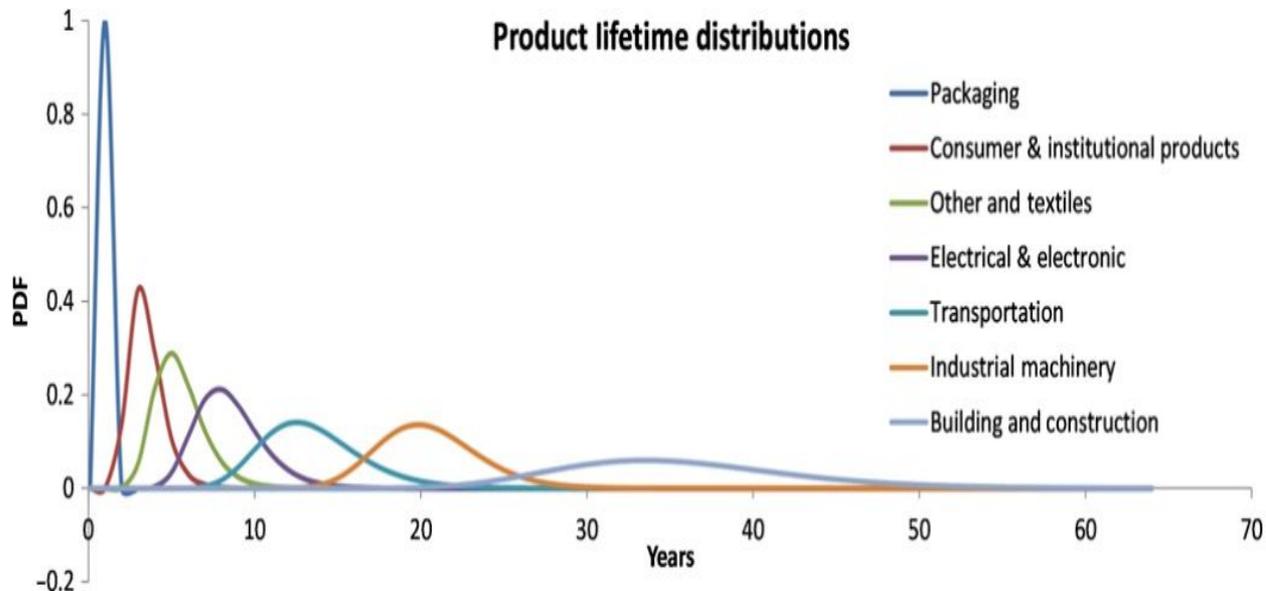
63% son plásticos y el 73% termina en relleno sanitario o incinerado. A mayor producto interno bruto, se compra más y se usa menos.



# Materiales más utilizados por sector



# Distribución del tiempo de vida de los productos plásticos

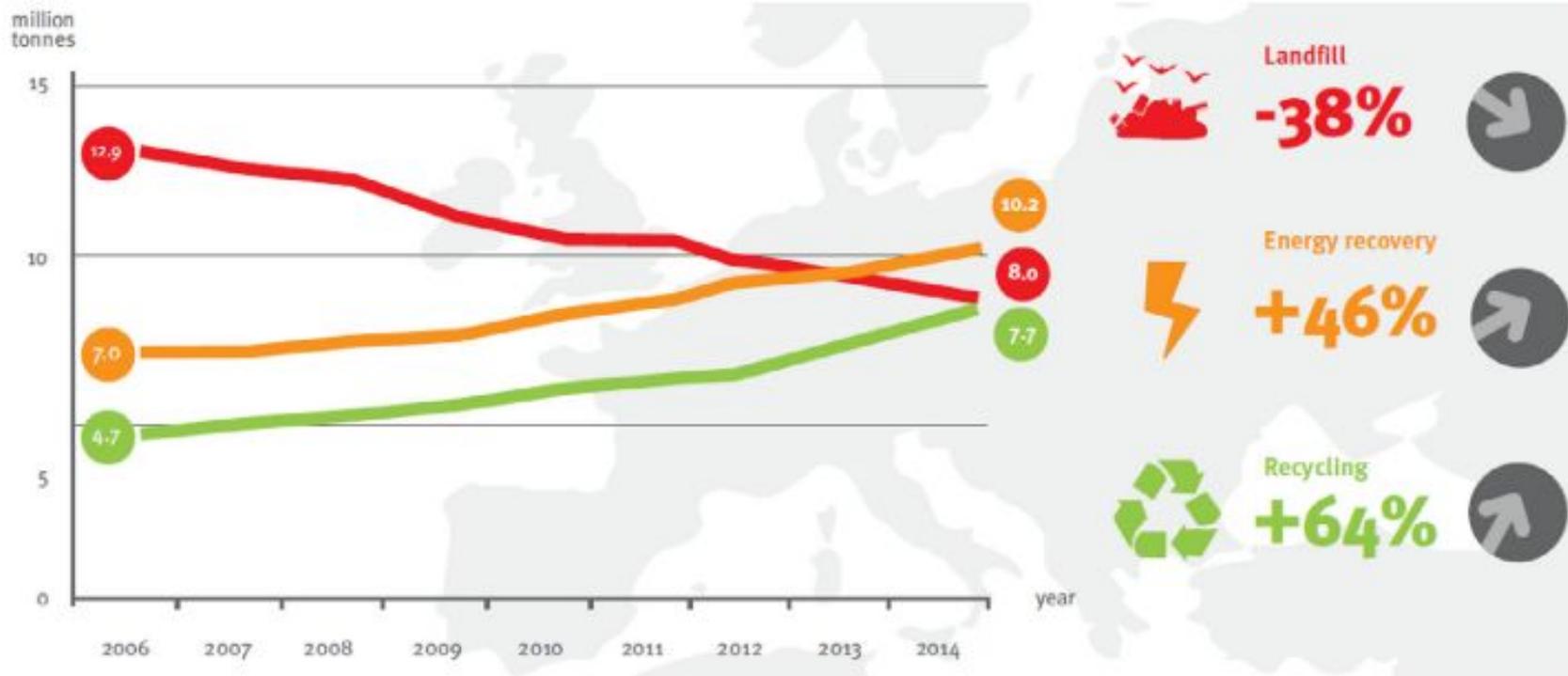


Los materiales asociados a empaques presentan el **menor tiempo de vida** en el mercado, siendo los que generan **mayor cantidad de residuos**.

# Prioridades en la gestión de residuos sólidos



# Evolución del reciclaje a 2015



# Upcycling - Downcycling

¿Qué estamos haciendo?

**Upcycling:** Reciclaje de materiales en productos de igual o mayor **valor**

**Downcycling:** Reciclaje de materiales en productos de menor **valor**

\$\$



\$\$\$\$\$



\$\$



\$



# Upgrading - Downgrading

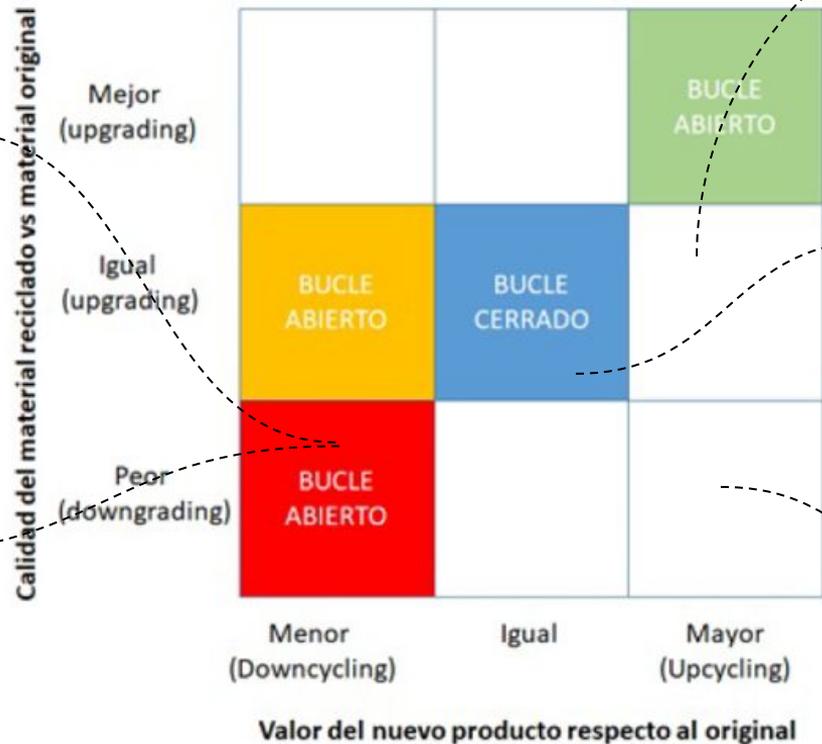
¿Qué estamos haciendo?

**Upgrading:** Reciclaje de materiales con iguales o mejores **propiedades**

**Downgrading:** Reciclaje de materiales con menores **propiedades**

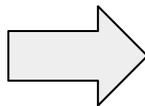


# Objetivo: Upcycling y Upgrading en ciclo cerrado





# Procedimiento de Valorización de Residuos Plásticos



Caracterización

Referenciación

Ficha Técnica

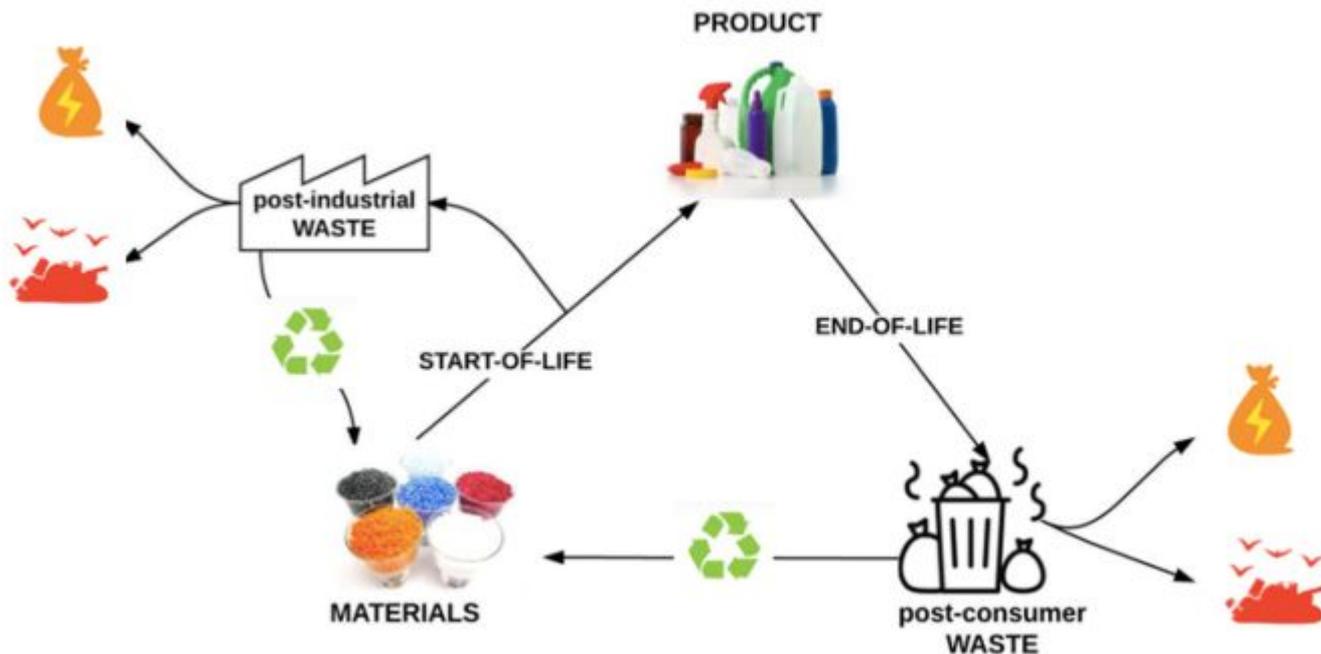
Prueba Concepto

Desarrollo de fórmula

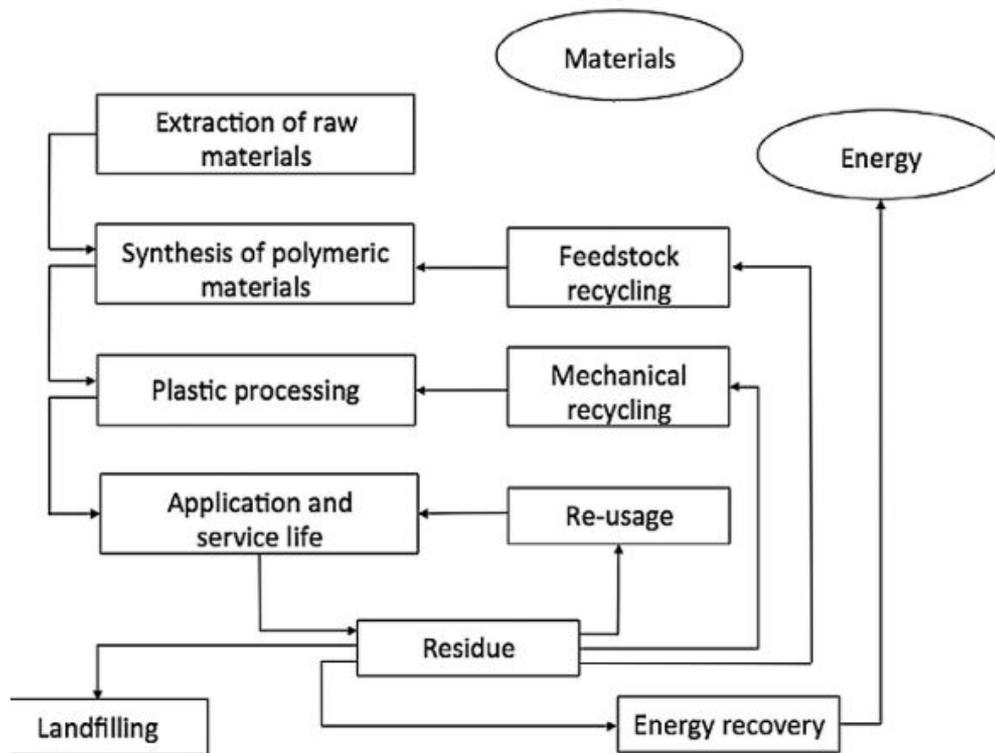
Escalamiento



# Esquema de economía circular en el sector de plásticos



# Esquema de economía circular en el sector de plásticos



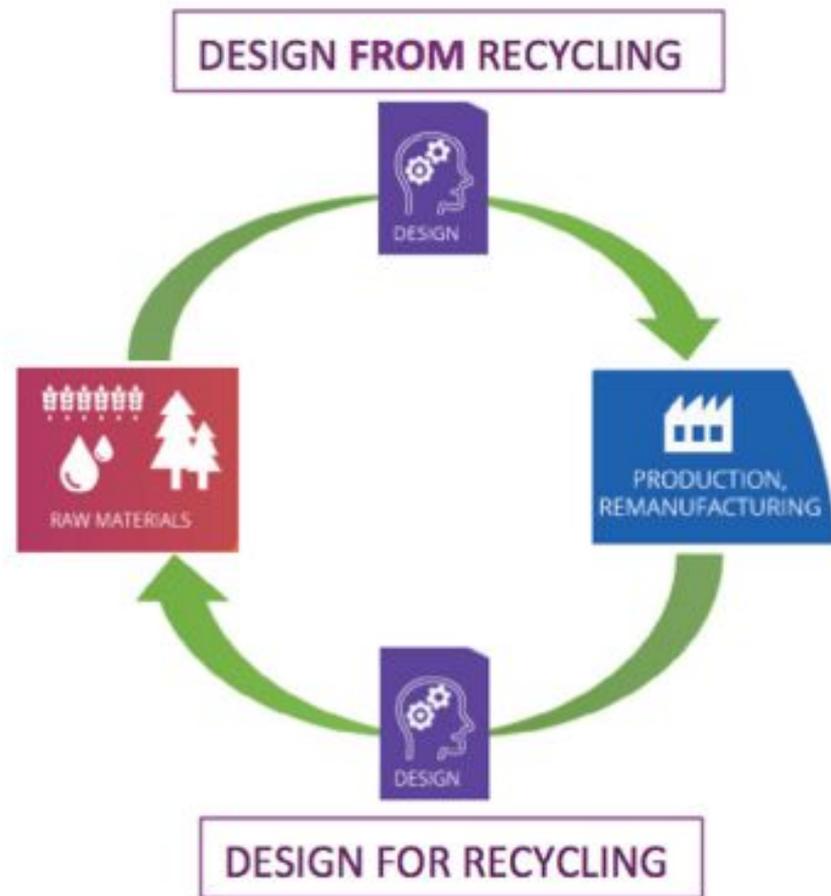
# ¿Qué es necesario para moverse hacia un reciclaje técnico de los materiales?





# Diseñar desde y para el reciclaje

## *Ecodiseño*





# Problemas ocasionados por inadecuado ecodiseño de los productos - Envases de HDPE en Colombia

Base de datos de envases que se disponen como madera plástica elaborada por el ICIPC

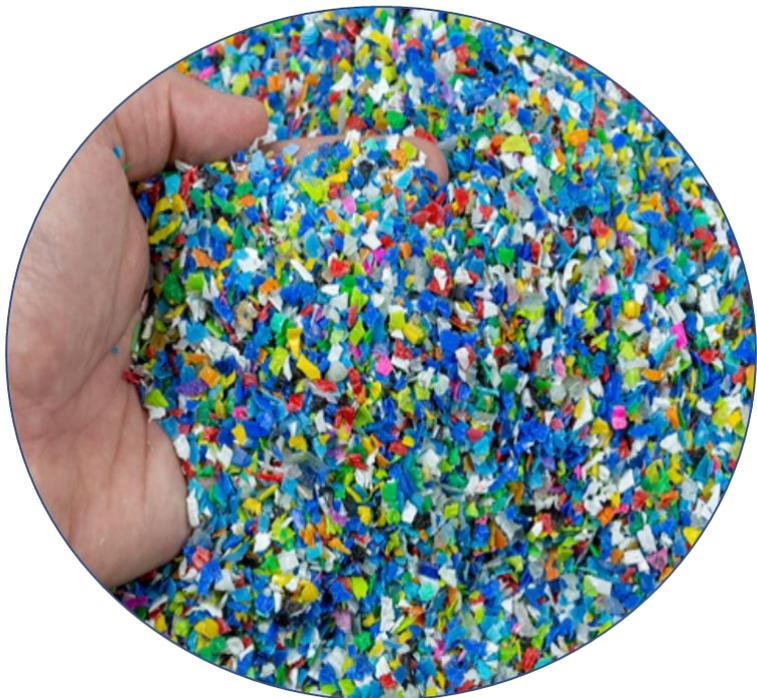
#	Foto del envase	Marca del envase	Fabricante del envase	Contenido	Razón (es) por la cual no se recicla o va para madera plástica		
19		Aspercreme	NI	Medicamentos	Envase impreso		
20		Mylanta	Takeda pharma ltda	Medicamentos	Etiqueta de papel		
21		NI	NI	NI	Envase sucio	No tiene etiqueta	
22		Bonaropa		Cosméticos	Etiqueta de papel		

526 envases de diferentes marcas que no se reciclan para producir envases.

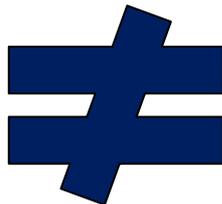
*El ecodiseño debe considerar problemáticas locales*



# Diferencia entre plástico reciclado y materia prima reciclada



Plástico reciclado



Materia prima reciclada



# Los altos requerimientos de los plásticos como materia prima

## *Implicaciones:*

Mayores requerimientos de separación

Caracterización

Estabilidad lote a lote

Cumplimiento de ficha técnica





# Fichas técnicas

## FICHA TÉCNICA PRELIMINAR – GAIA PS-C 7 - Cristal

**MATERIAL:** GAIA – PS-C 7 - Cristal

**Descripción General:** Compuesto polimérico proveniente de RAEEs, seleccionado de fuentes controladas principalmente neveras con contenido mayoritario de Poliestireno cristal- PS-C y libre de retardardantes de llama bromados de color transparente.

Por sus características de fluidez es adecuado para los procesos de inyección para ser usado puro o en combinación con PS o HIPS virgen.

### Usos:

- Piezas inyectadas plásticas de larga vida útil
- Posibilidad de modificar sus propiedades y ajustarlas dependiendo de la aplicación

### Beneficios

- Reducción del impacto ambiental

### Propiedades

Nota: Los valores presentados son típicos y no pretenden que sean usados para especificar productos.

Propiedad	Norma	Unidades	Valor
Modulo Secante	ASTM D638	MPa	2911
Resistencia a la Tensión	ASTM D638	MPa	45.3
Elongación en la fractura	ASTM D638	%	2.12
Índice de Fluidez – MFI	ASTM D1238	g/10min 230°C/3.8 Kg	6.67
Resistencia al Impacto	ASTM D256	kJ/m <sup>2</sup>	15.5
Densidad	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	1.093
Cenizas en mufla	interna	%	>0.5

Para su procesamiento, se recomienda usar temperaturas entre 200°C – 210°C

Debido a la naturaleza de la fuente, no se recomienda su uso para artículos en contacto con alimentos.

## FICHA TÉCNICA PRELIMINAR – GAIA PP 18 - Black

**MATERIAL:** GAIA – PP 18 - Black

**Descripción General:** Compuesto polimérico con contenido mayoritario de Polipropileno - PP proveniente de RAEEs, seleccionado de fuentes controladas principalmente cajas de filmillas, el material se encuentra libre de retardardantes de llama Bromados de color Negro.

Por sus características de fluidez es adecuado para los procesos de inyección para ser usado puro o en combinación con PP virgen o sus copolímeros.

### Usos:

- Piezas inyectadas plásticas de larga vida útil
- Posibilidad de modificar sus propiedades y ajustarlas dependiendo de la aplicación

### Beneficios

- Reducción del impacto ambiental

### Propiedades

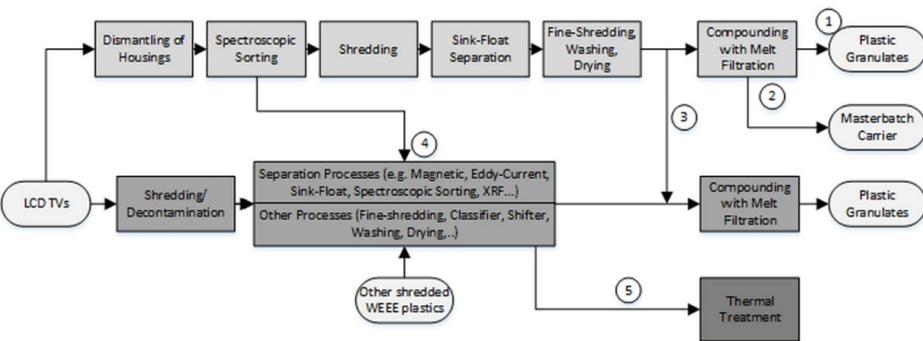
Nota: Los valores presentados son típicos y no pretenden que sean usados para especificar productos.

Propiedad	Norma	Unidades	Valor
Modulo Secante	ASTM D638	MPa	1089.6
Resistencia a la Tensión	ASTM D638	MPa	19.38
Elongación en la fractura	ASTM D638	%	159.2
Índice de Fluidez – MFI	ASTM D1238	g/10min 230°C/2.16 Kg	18
Resistencia al Impacto	ASTM D256	kJ/m <sup>2</sup>	122.8
Densidad	ASTM D792	g/cm <sup>3</sup>	0.891
Cenizas en mufla	interna	%	<0.5

Para su procesamiento, se recomienda usar temperaturas entre 220°C – 240°C

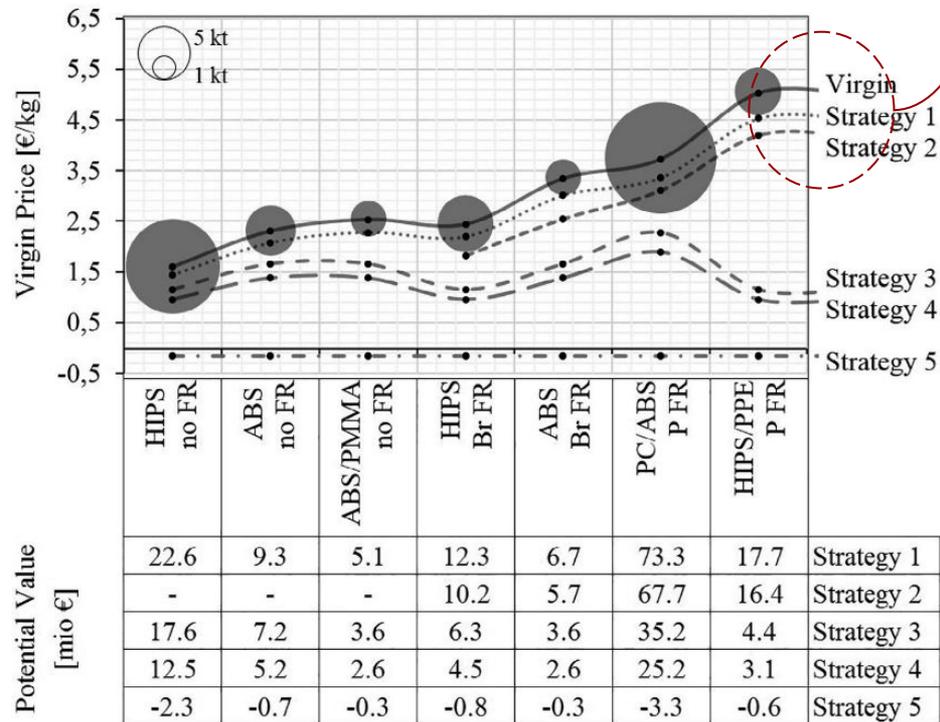
Debido a la naturaleza de la fuente, no se recomienda su uso para artículos en contacto con alimentos.

# El valor de los plásticos como materia prima



Recycling strategies:	Recycling category
1 Dismantling based recycling of plastics for direct reapplication	Primary
2 Dismantling based recycling of plastics as masterbatch carriers	Primary/ Secondary
3 Blending with post-shredder plastic recyclates	Secondary
4 Refeeding in post-shredder recycling process	Secondary
5 Thermal treatment	Tertiary

## Estrategias de reciclaje con productos de valor cercano a materias primas virgenes

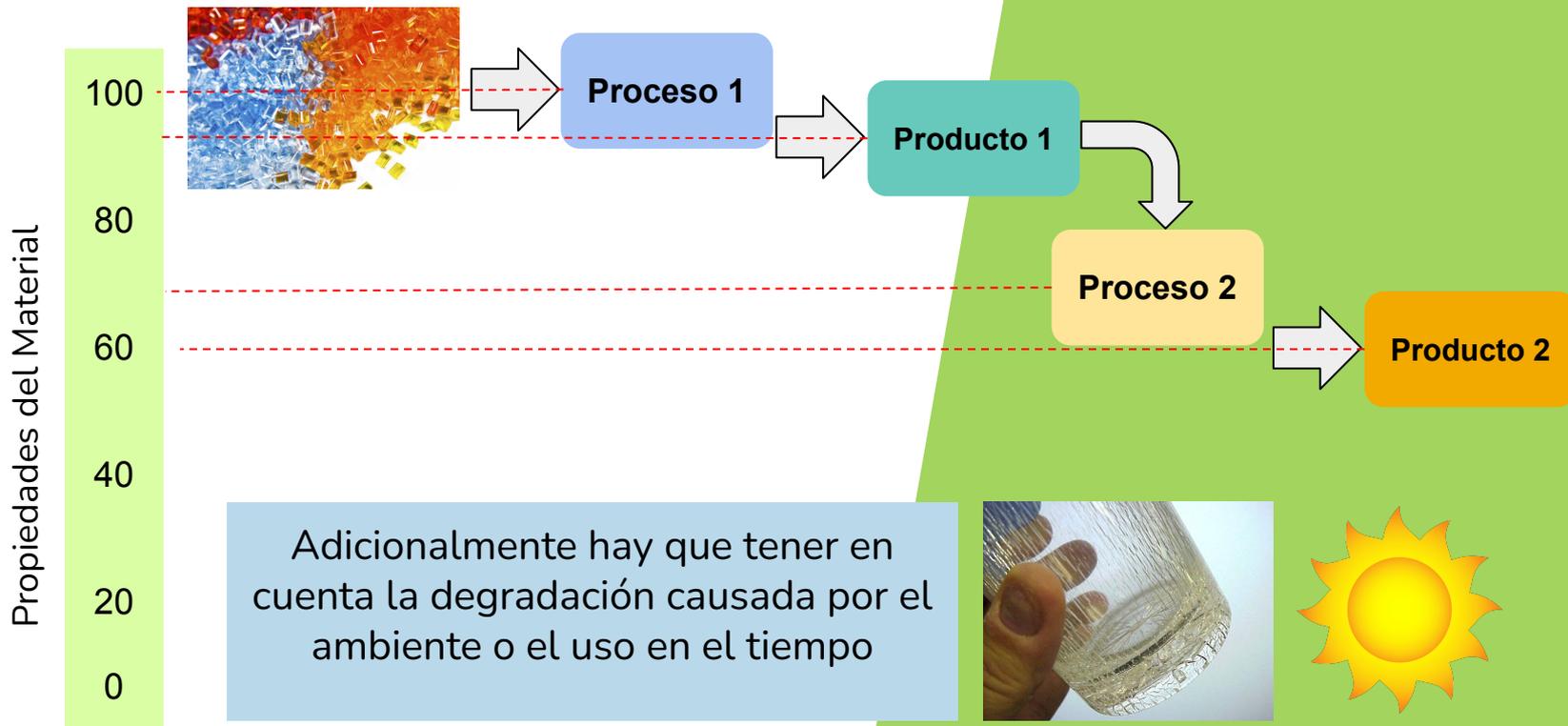




# *El problema de la pérdida de propiedades*

## Upgrading - Downgrading

Por qué se genera?

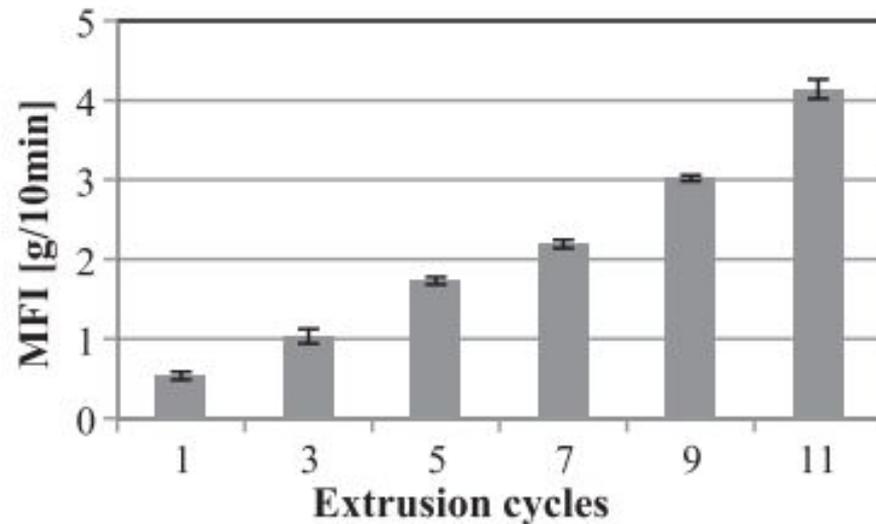
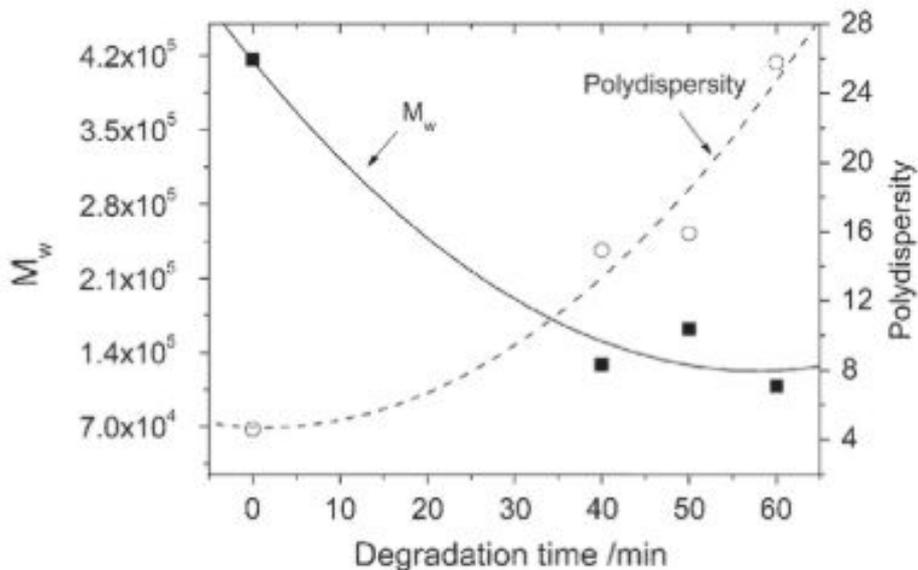


# Cambios en el peso molecular en el PP

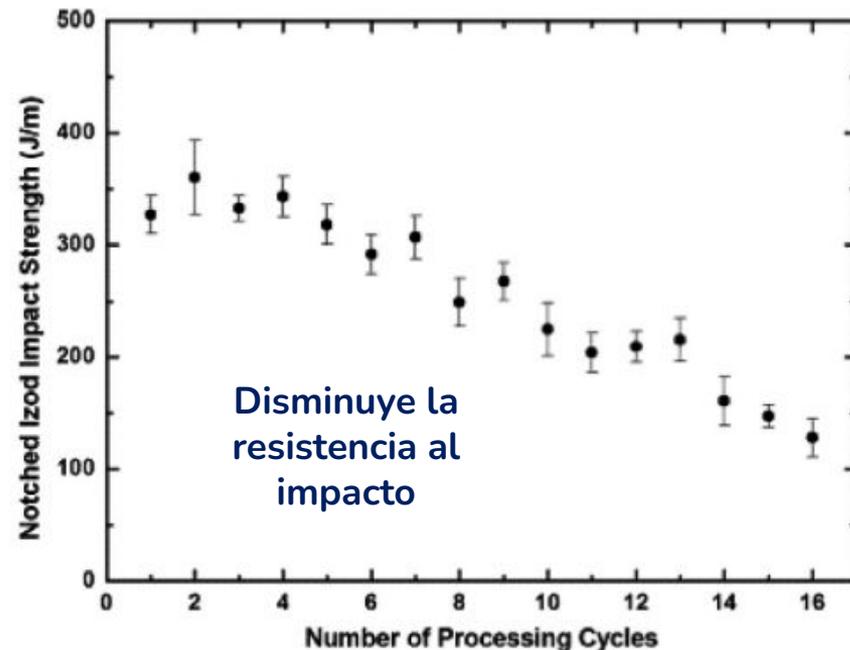
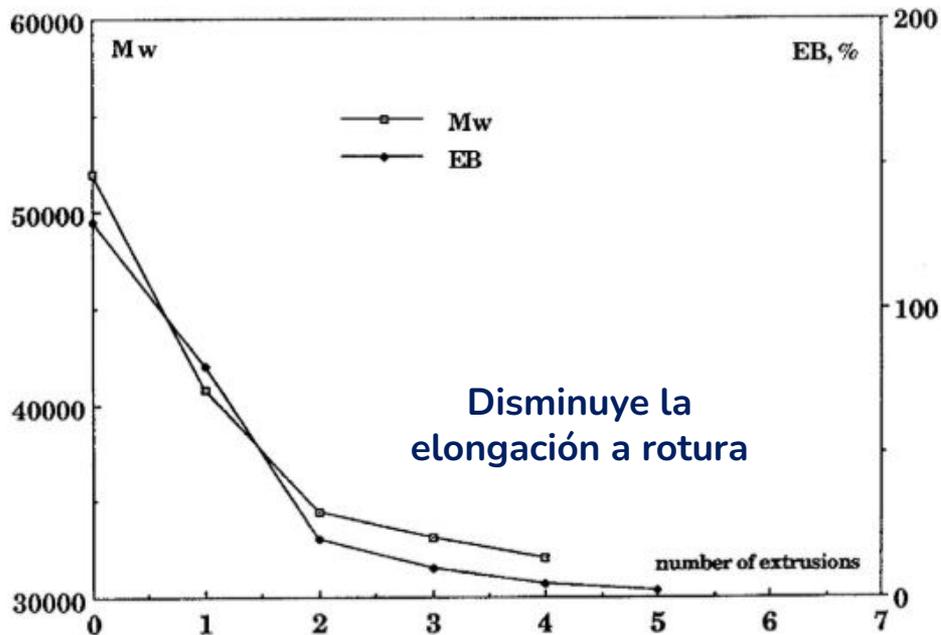
Disminuye el peso molecular

Aumenta la distribución de peso molecular

Aumenta el MFI



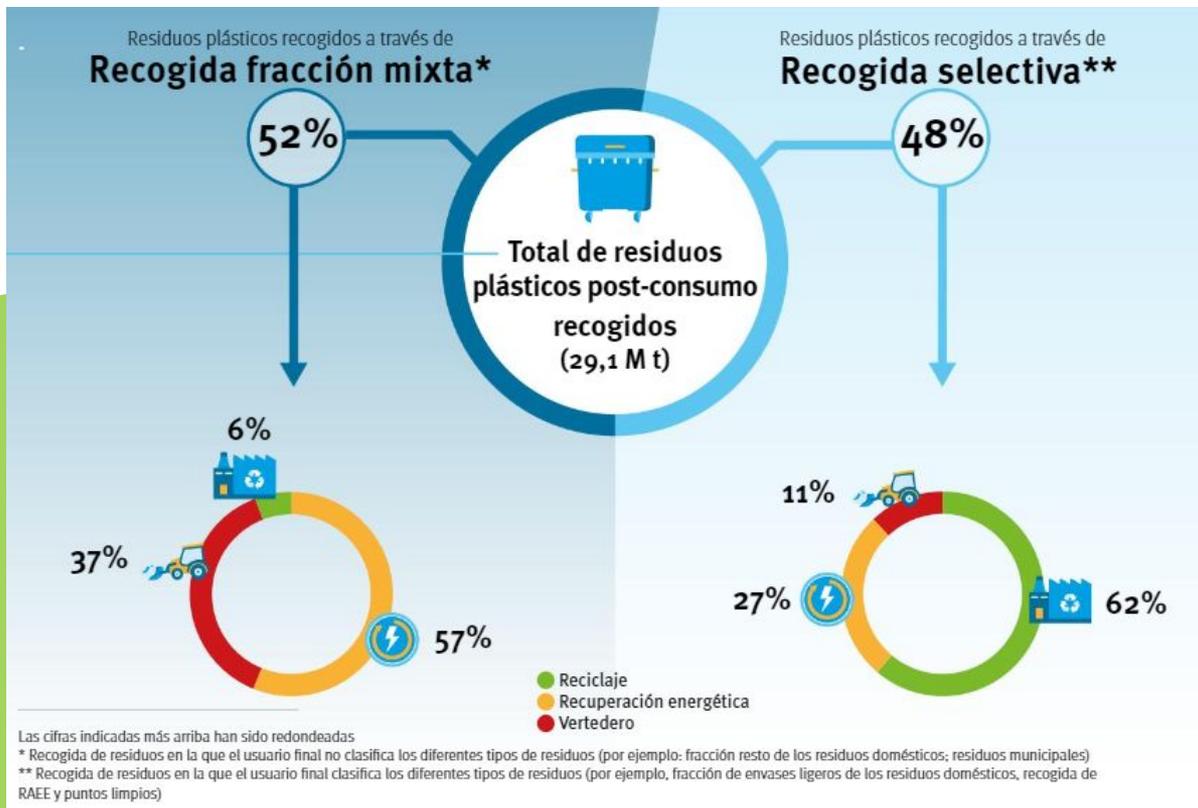
# Cambios en el peso molecular, elongación a rotura y resistencia al impacto en PET



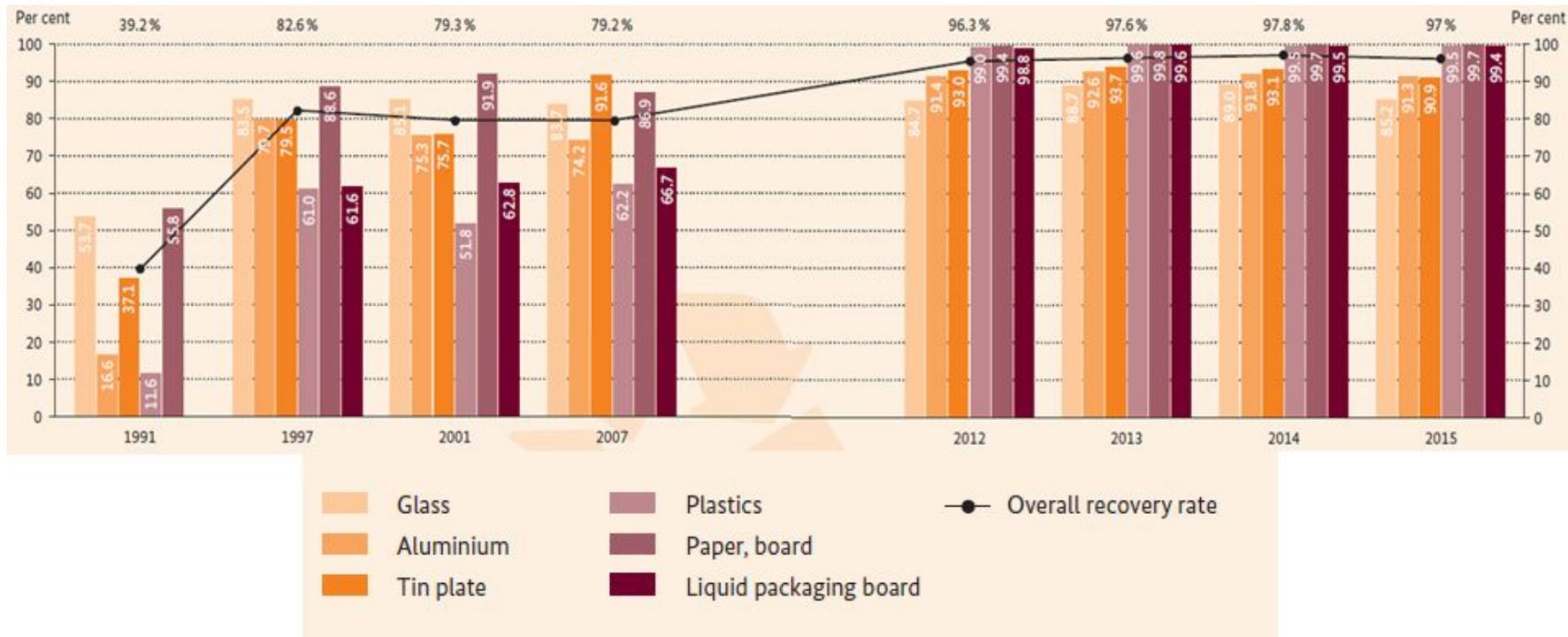


# *Reciclaje mecánico*

# Separar vs no separar desde la fuente.



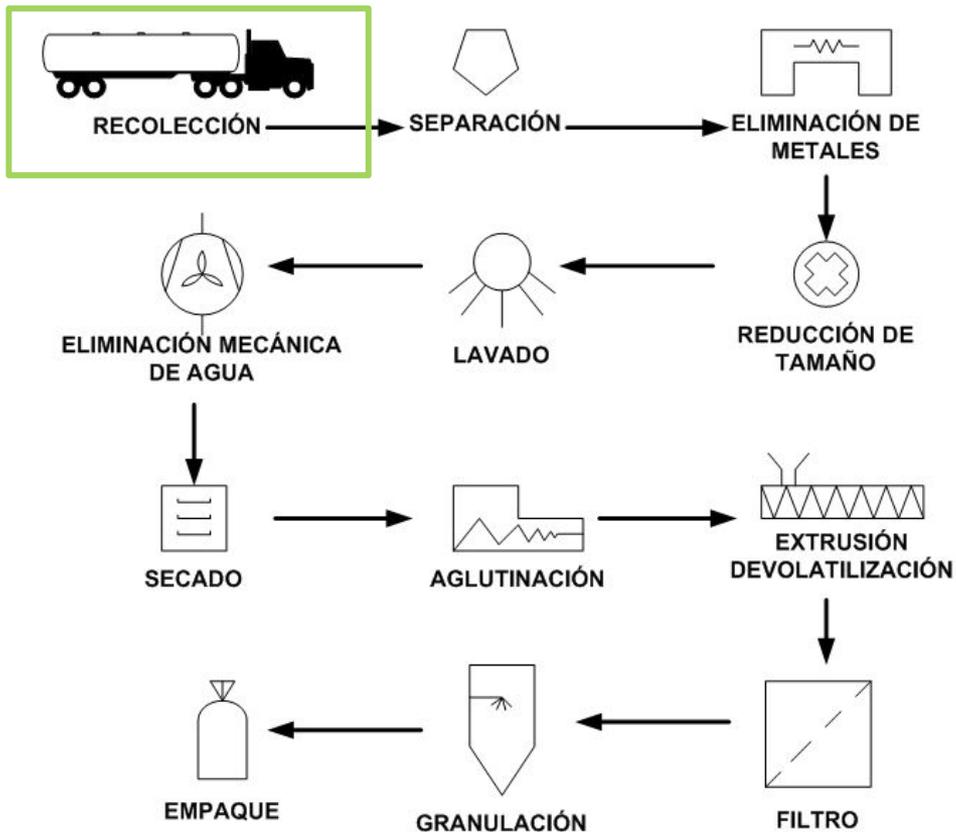
# Separación en la fuente - Impacto en el Sistema de reciclaje alemán



Fuente:

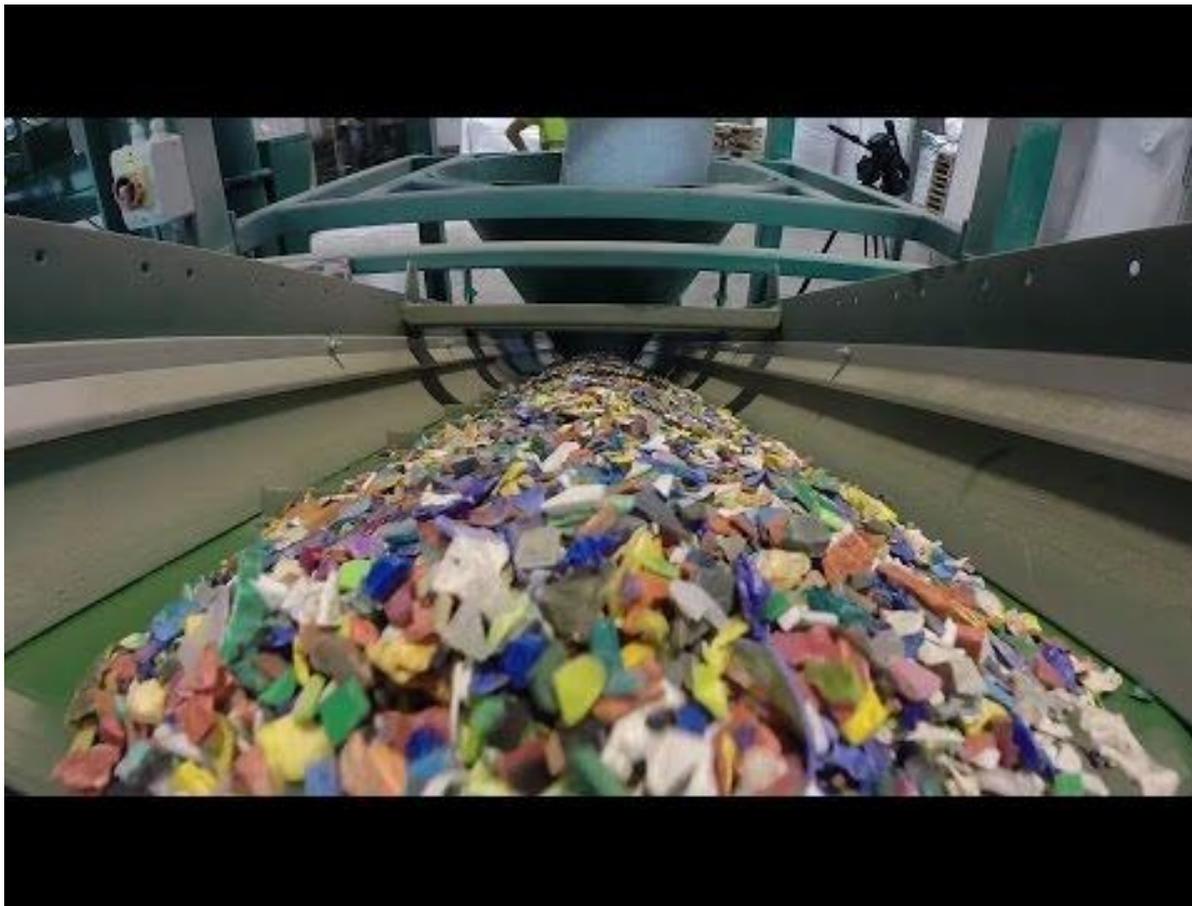
# Introducción

## Cadena del reciclaje Mecánico





# Planta de reciclaje





# *Separación o “sorting”*



# Separación

Intensiva en Mano de  
Obra = \$\$\$\$



<http://www.allenwaste.co.uk/recyclables.html>





# Identificación de materiales

Codificación de los materiales -  
(ASTM D7611-20)

El código sólo indica la familia del material que está fabricado. No da más información relevante para el reciclaje.

Resin Identification Number	Resin	Resin Identification Code –Option A	Resin Identification Code –Option B
1	Poly (ethylene terephthalate)	 PETE	 PET
2	High density polyethylene	 HDPE	 PE-HD
3	Poly (vinyl chloride)	 V	 PVC
4	Low density polyethylene	 LDPE	 PE-LD
5	Polypropylene	 PP	 PP
6	Polystyrene	 PS	 PS
7	Other resins	 OTHER	 0 39



# Separación

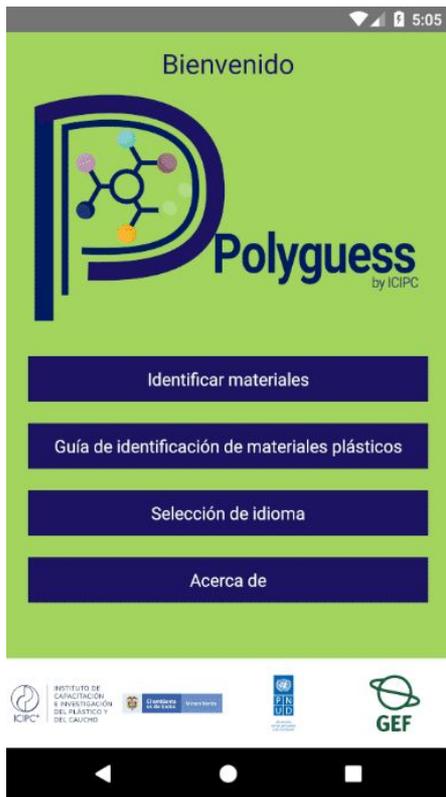
## Solución de apoyo - Aplicación Polyguess

Utiliza pruebas al alcance del gestor, basado en propiedades como Densidad, Dureza, Goteo y color de llama, para identificar materiales.



El ambiente  
es de todos

Minambiente



Proyecto: UNDP-COL 98842



**Polyguess** es una solución de identificación **rápida** de familias de materiales que ofrece la oportunidad de **fortalecer** la cadena de **reciclaje** del país

# Muchos métodos de separación de plásticos

*Y cada uno de ellos se recomienda para cierto tipo de mezclas...*

*¡Pero la composición de las mezclas de reciclados es muy variable!*

1

## ***Separación electrostática***

Dos tipos de plásticos se cargan con cargas opuestas cuando los materiales se frotran entre sí y tienden a separarse.

2

## ***Separación disolución***

Generalmente incluye cuatro procedimientos: triturar y eliminar contaminantes e impurezas, disolución, extracción y precipitación

3

## ***Separación por densidad***

El equipo más utilizado es el hidrociclón. Los rangos de densidad de muchos materiales se superponen.

4

## ***Separación espectroscópica***

Con un sensor se detecta una propiedad única de los plásticos y activa un actuador en el sistema de separación que separa este tipo de plástico de la mezcla.

5

## ***Separación por flotación***

La flotación separa el plástico objetivo de las mezclas dependiendo de la diferencia de humectabilidad del plástico.

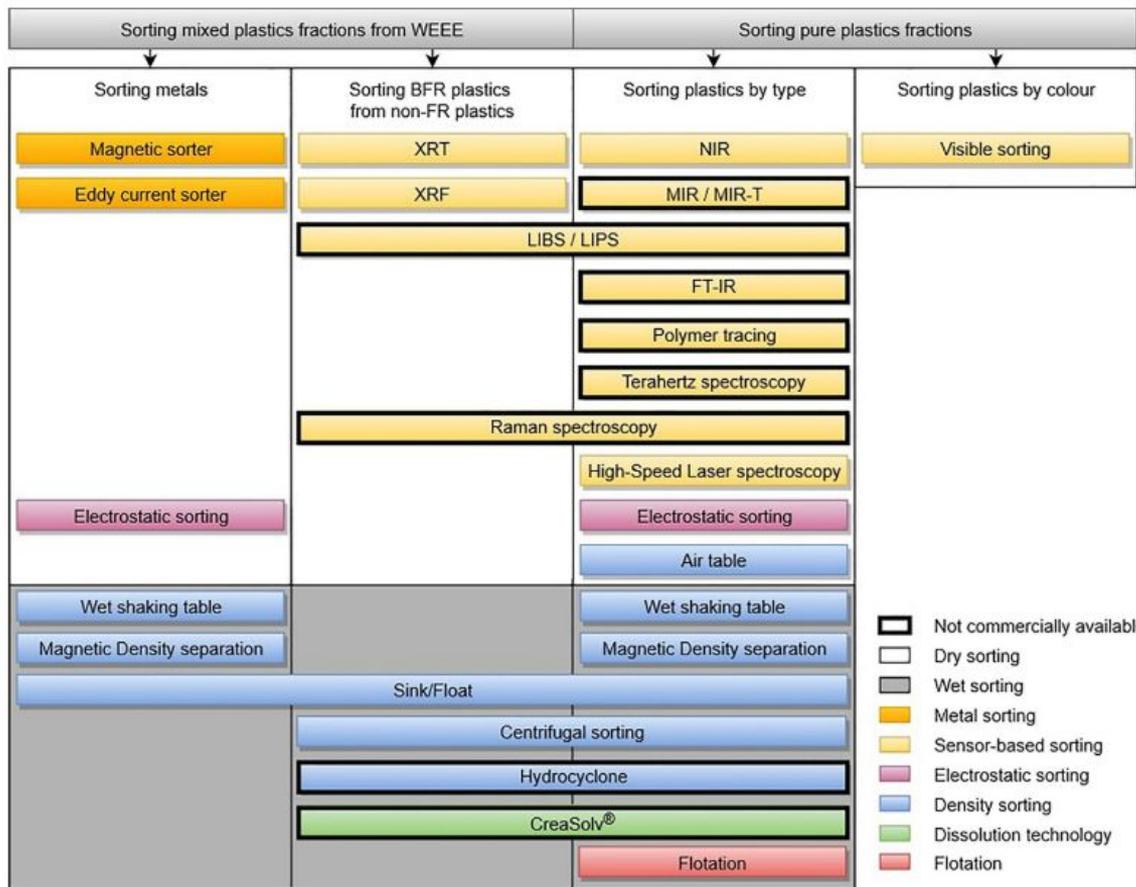
6

## ***Separación por densidad magnética***

Al usar un líquido magnético (que contiene óxido de hierro) como medio de separación, la densidad del líquido se puede variar mediante el uso de un campo magnético especial.



# Separación - Método recomendado a la necesidad

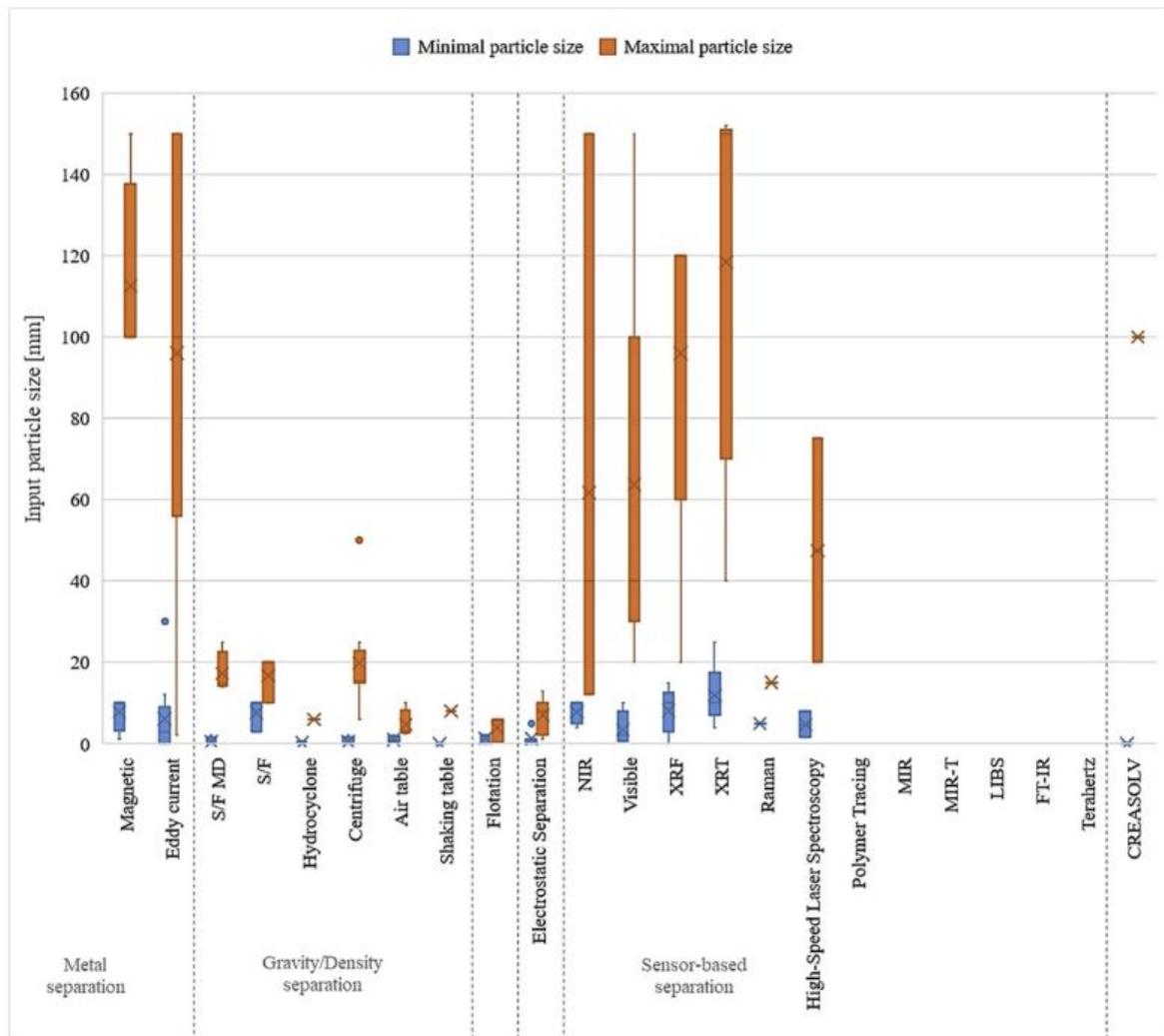


- Not commercially available
- Dry sorting
- Wet sorting
- Metal sorting
- Sensor-based sorting
- Electrostatic sorting
- Density sorting
- Dissolution technology
- Flotation

Maisel, F., Chancerel, P., Dimitrova, G., Emmerich, J., Nissen, N. F., & Schneider-Ramelow, M. (2020). Preparing WEEE plastics for recycling – How optimal particle sizes in pre-processing can improve the separation efficiency of high quality plastics. Resources, Conservation and Recycling, 154(March 2019), 104619. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104619>

# Separación - Influencia del tamaño de partícula

Maisel, F., Chancerel, P., Dimitrova, G., Emmerich, J., Nissen, N. F., & Schneider-Ramelow, M. (2020). Preparing WEEE plastics for recycling – How optimal particle sizes in pre-processing can improve the separation efficiency of high quality plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 154(March 2019), 104619. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104619>

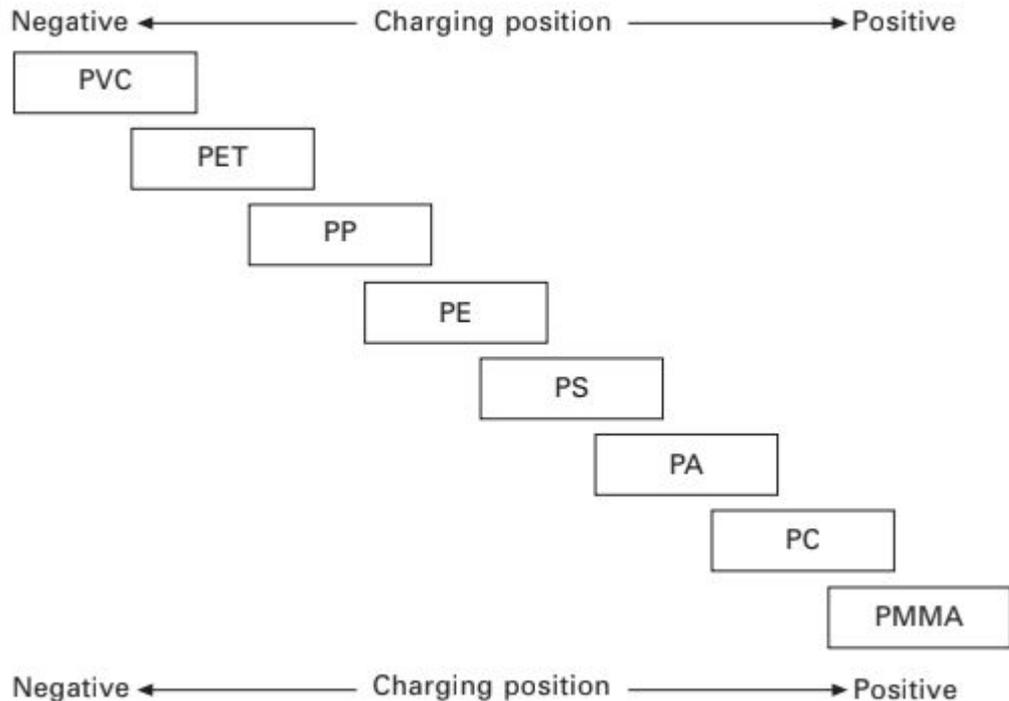
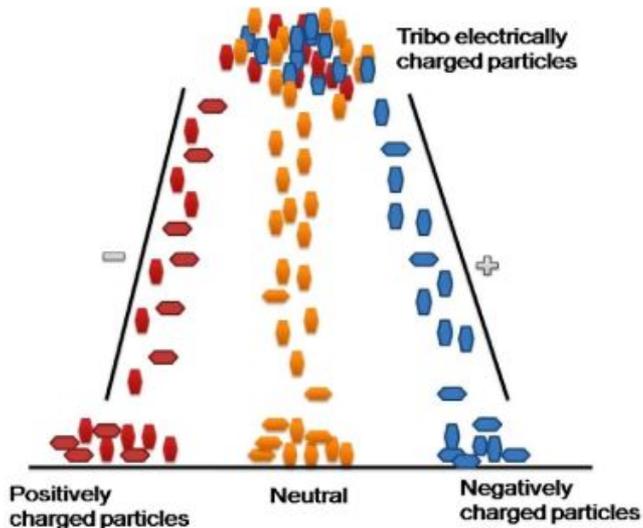




# *1. Separación electrostática*

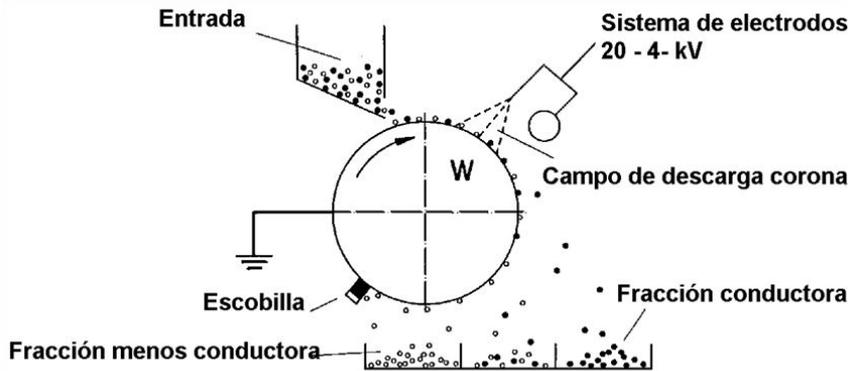
# Separación

## Separador de cámara electrostática

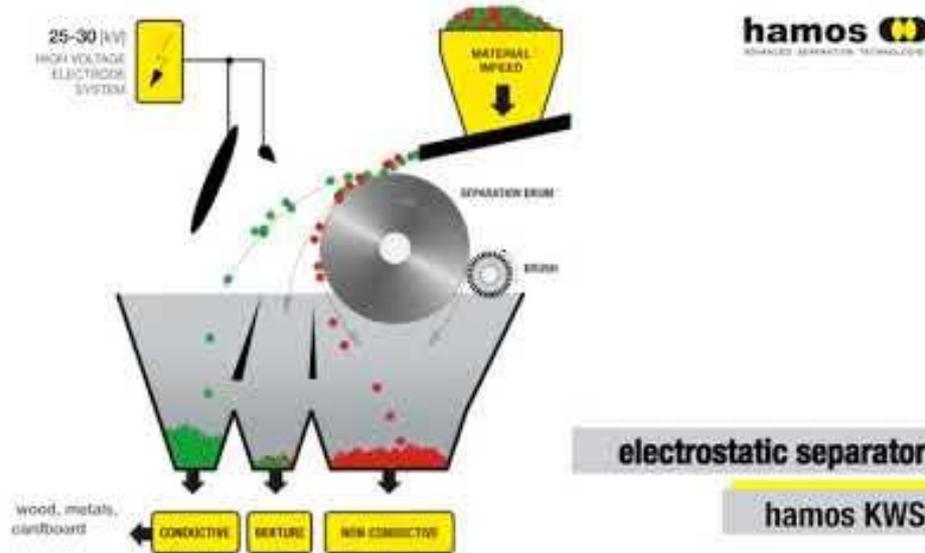


# Separación electrostática

## Separador de rodillo corona



# Separación electrostática por rodillo y banda





## ***3. Separación por densidad***



# Densidad

PP=0.9 g/cm<sup>3</sup>



HDPE=0.95 g/cm<sup>3</sup>



LDPE=0.92 g/cm<sup>3</sup>



Water=1.00 g/cm<sup>3</sup>



PS=1.00 g/cm<sup>3</sup>

PET=1.38 g/cm<sup>3</sup>



PA=1.14 g/cm<sup>3</sup>



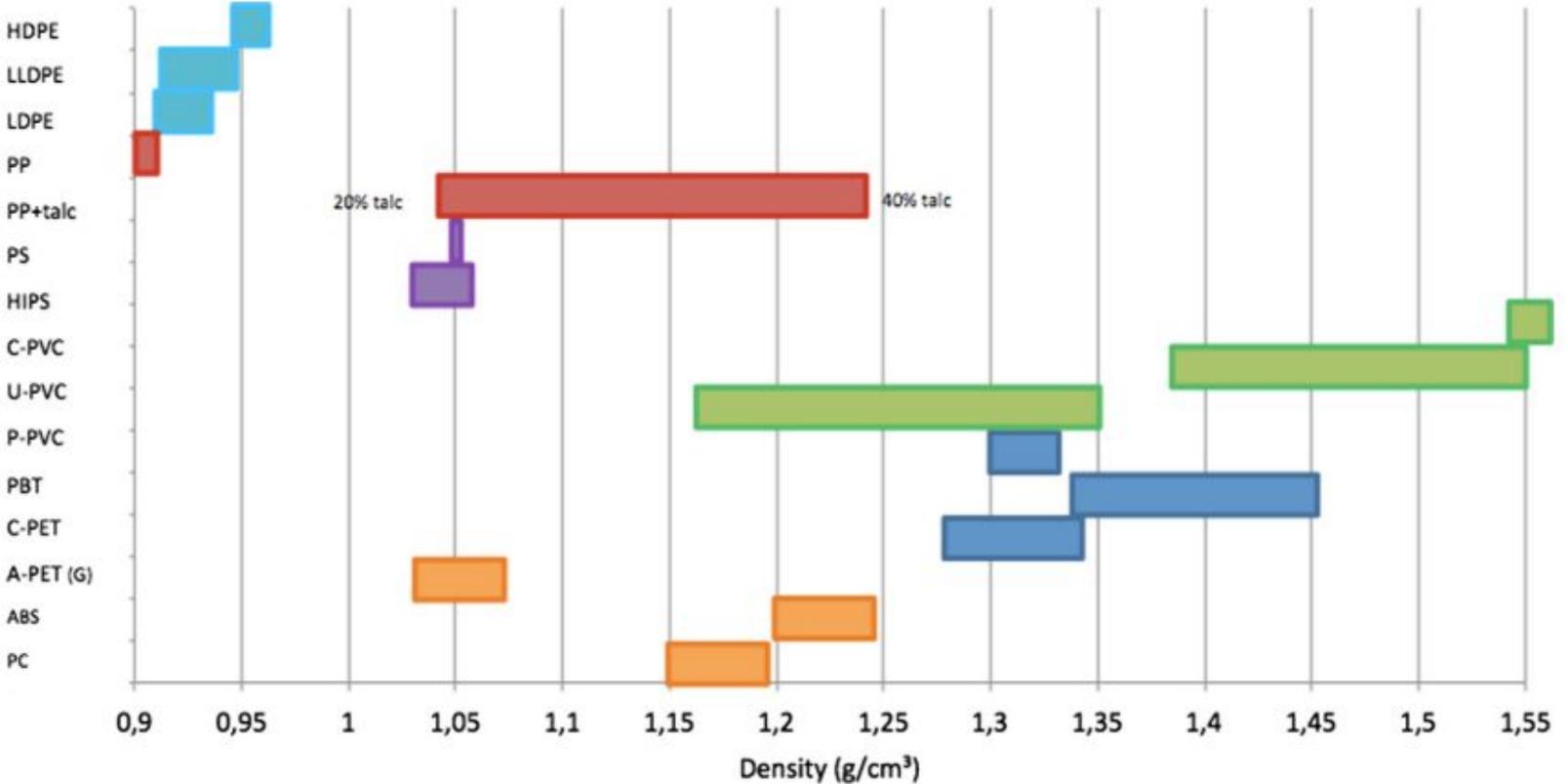
ABS=1.07 g/cm<sup>3</sup>



PVC=1.38 g/cm<sup>3</sup>



# Rango de densidad de algunos polímeros



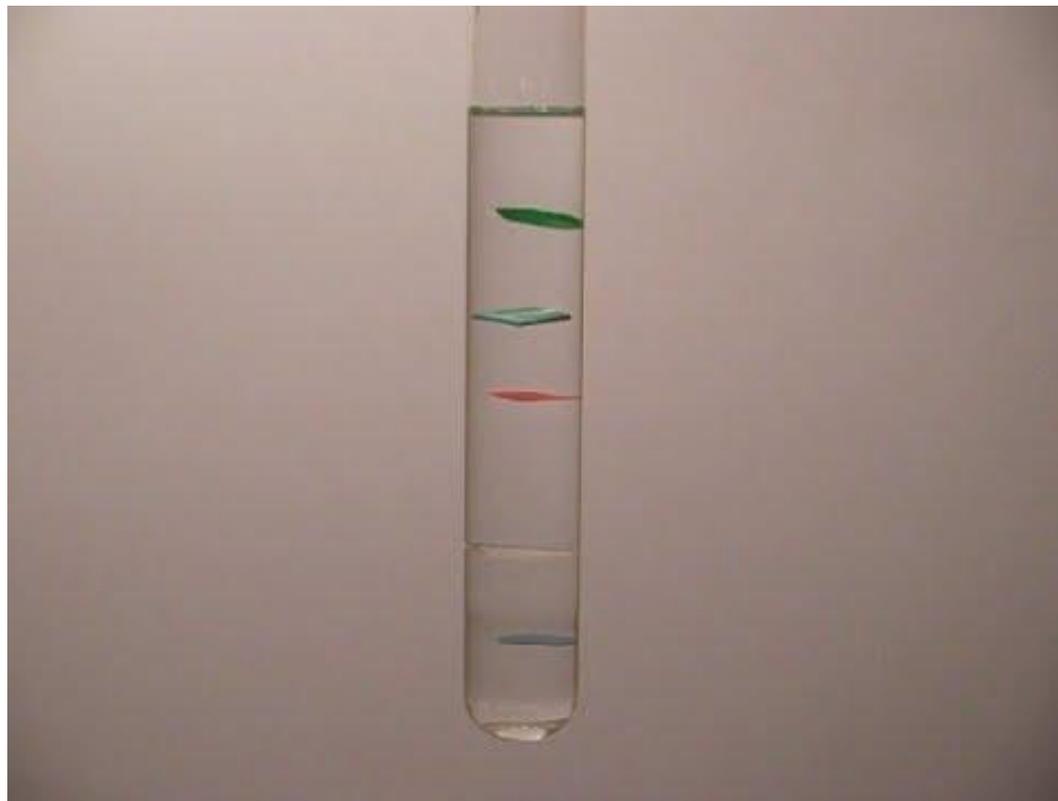


# Clasificación por densidad

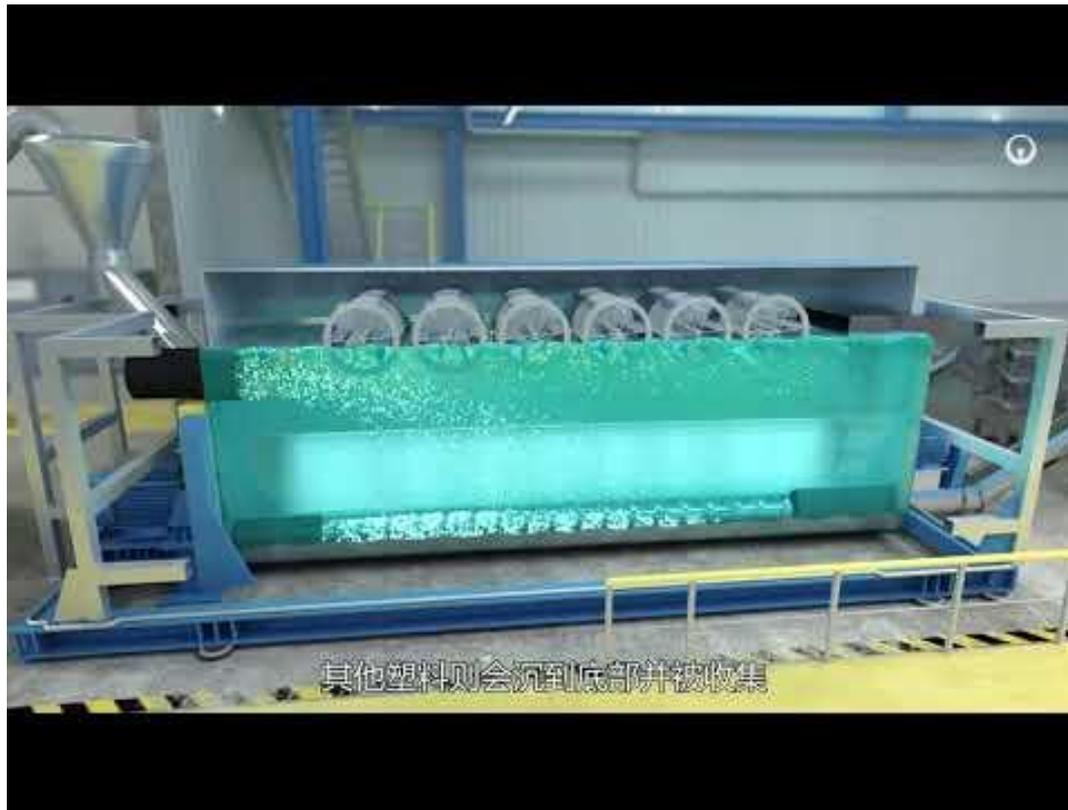
## Método simple de columna de densidades

- $K_2CO_3$  45% w/v ( $1.42 \text{ g/cm}^3$ )
- NaCl 12% w/v ( $1.1 - 1.2 \text{ g/cm}^3$ )
- $H_2O$  ( $1.0 \text{ g/cm}^3$ )
- Isopropanol 45% v/v ( $0.92 - 0.94 \text{ g/cm}^3$ )
- Etanol 60% v/v ( $0.90 - 0.92 \text{ g/cm}^3$ )
- Metanol 80% v/v ( $0.88 - 0.90 \text{ g/cm}^3$ )

\*Densidades por corroborar



# Planta de reciclaje - Representación animada tanques de separación por densidad

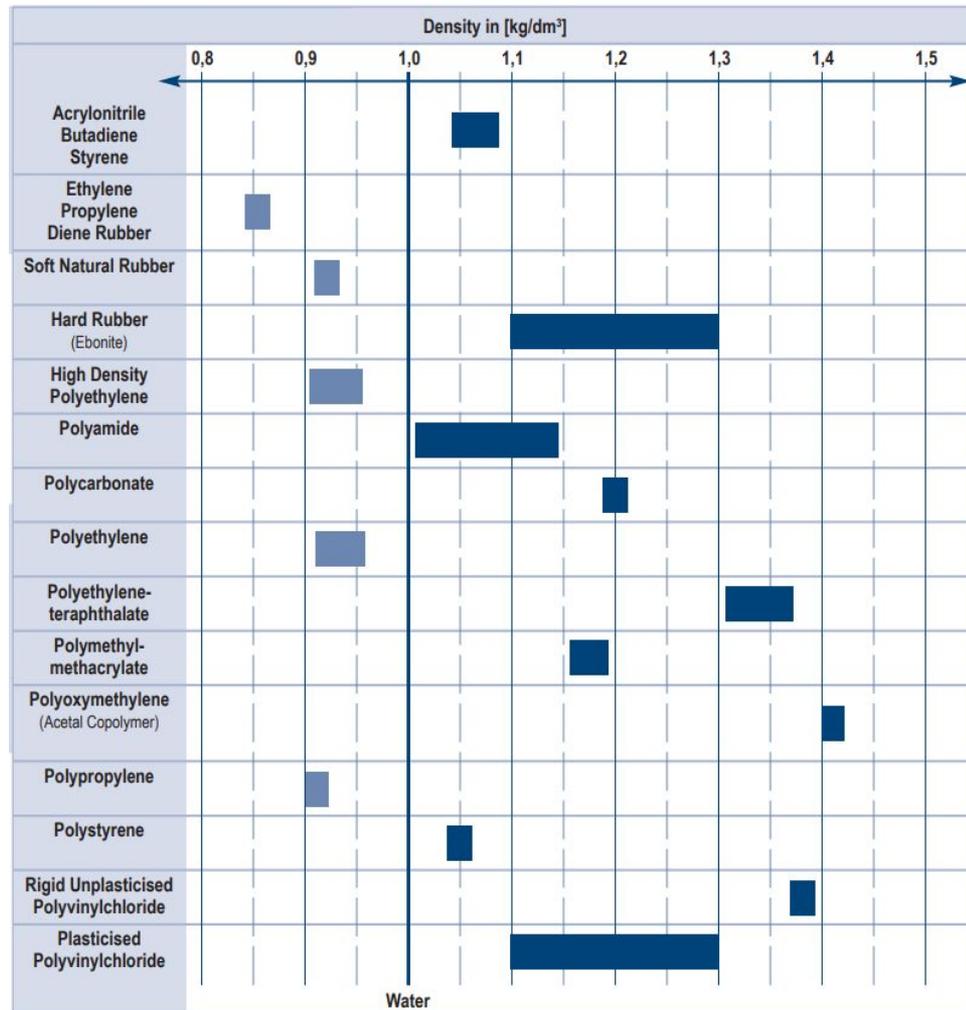
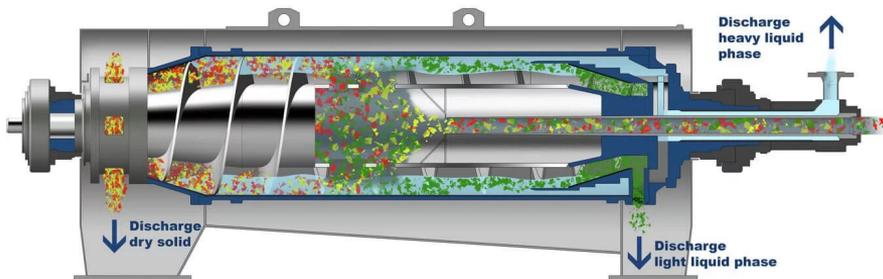




# Hidro-separador

## Sorticanter - FLOTTWEG

Busca aprovechar las diferencias de densidad para clasificar los polímeros





# Hidro-separador

Sorticanter - FLOTTWEG

Collection of ground  
and cleaned  
mixed plastics

Dosing

Slurry tank

SORTICANTER®

Waste water  
treatment

Light fraction

Heavy fraction

Drying

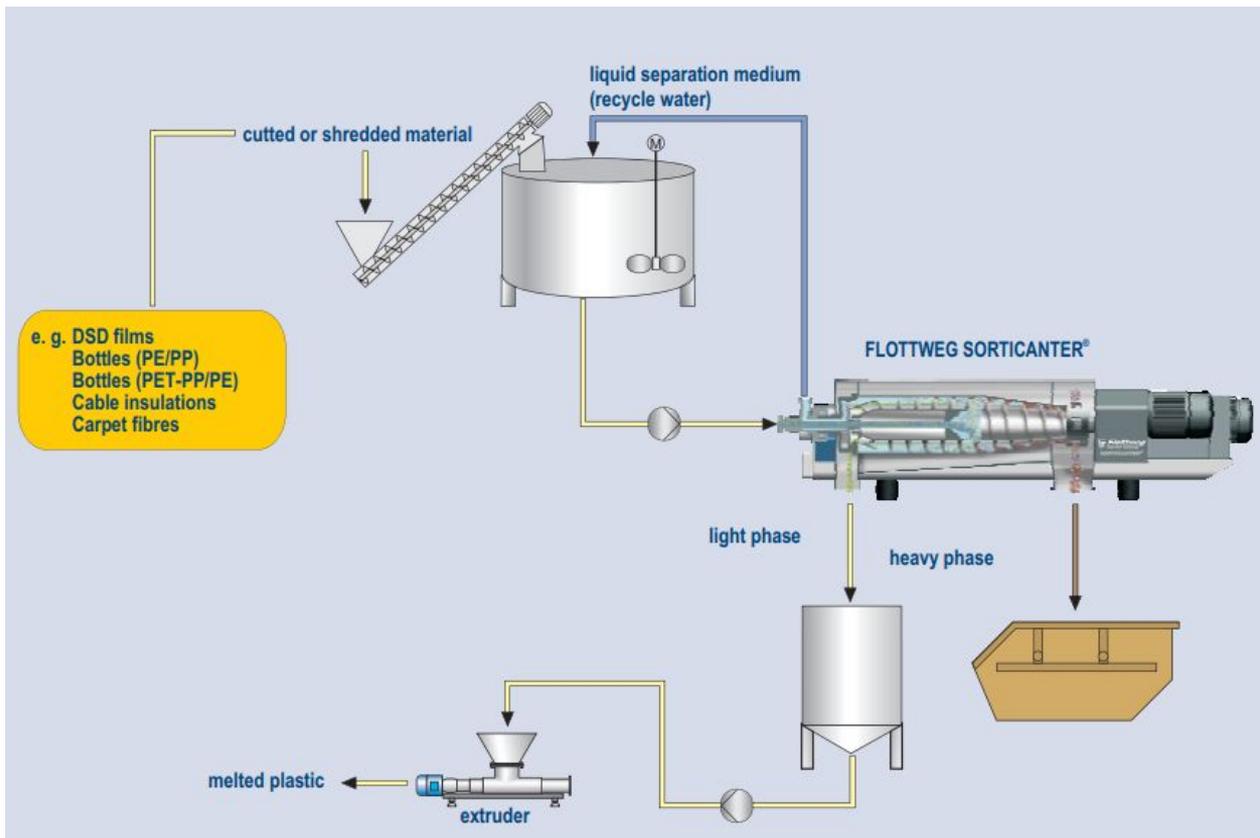
Waste processing  
and/or second  
separation stage

Extruder



# Hidro-separadores

## Sorticanter - FLOTTWEG





# Hidro-separadores

## Sorticanter - FLOTTWEG

	<b>SORTICANTER® K4D-4/444*</b>	<b>SORTICANTER® K6E-4/444*</b>	<b>Achievable residual moisture</b>
Sorting mixed plastics with a bulk density of the light fraction of 25 g/l	180 kg/h	400 kg/h	< 15 %
Sorting mixed plastics with a bulk density of the light fraction of 35 g/l	280 kg/h	600 kg/h	< 15 %
Sorting granulates with a bulk density of more than 300 g/l	800 kg/h	1600 kg/h	ca. 2–3 %
Sorting DSD films with a bulk density of the light fraction of 25 g/l	200 kg/h	440 kg/h	< 15 %
Sorting cable insulation with a bulk density of the light fraction of 450 g/l	800 kg/h	2000 kg/h	ca. 4 %
Sorting PE/PP blown bottles with a bulk density of the light fraction of 320 g/l	1000 kg/h	2000 kg/h	ca. 2–3 %
Sorting PET blown bottles	800 kg/h	2000 kg/h	ca. 2–3 %

\* The listed figures are guidelines to be used for information only. Actual capacity depends on the characteristics of the feed.

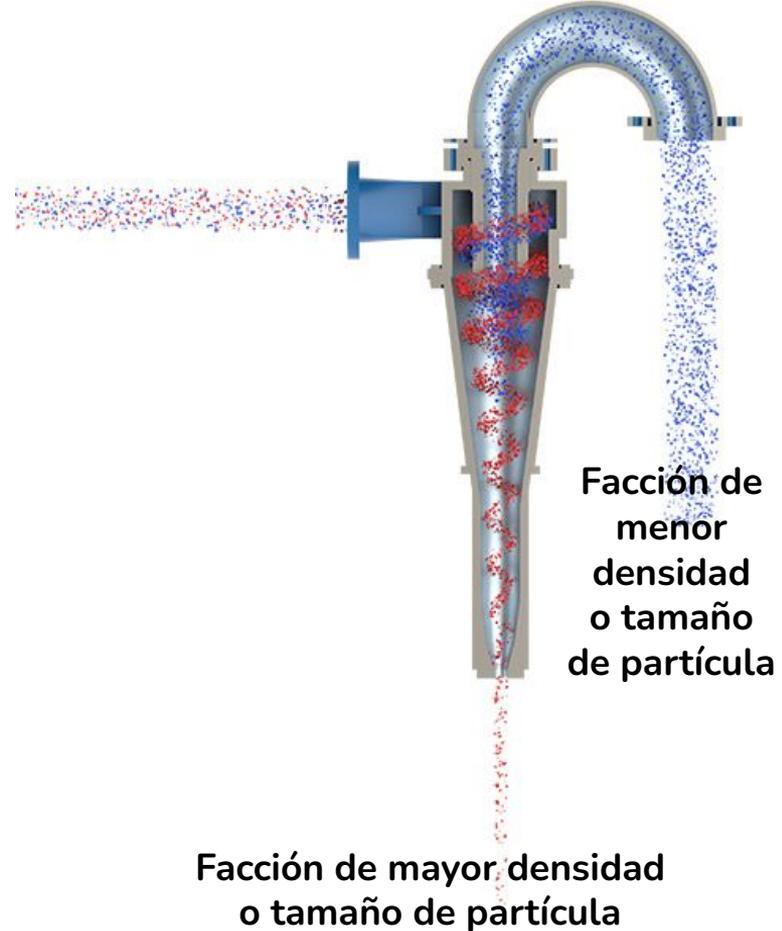


# Hidrociclones

WEIR



**Cavex<sup>®</sup> 2**  
**hydrocyclone**





# Hidrociclones

pla.to



# Hidrocyclones (Planta de reciclaje de películas)

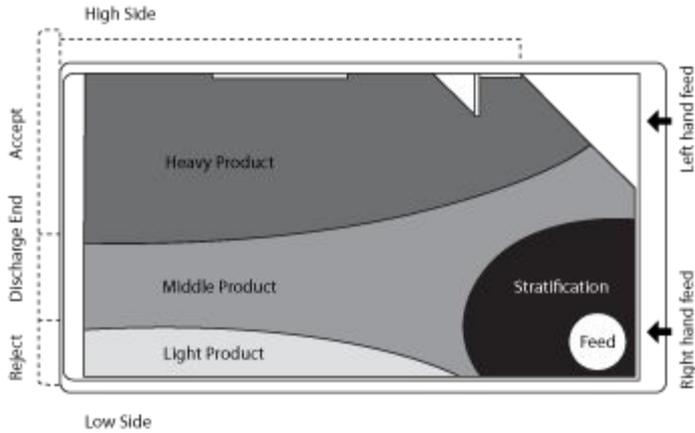
pla.to





# Separadores por gravedad

## Crown Gravity Separators



Método de separación por gravedad



## ***4. Separación espectroscópica***



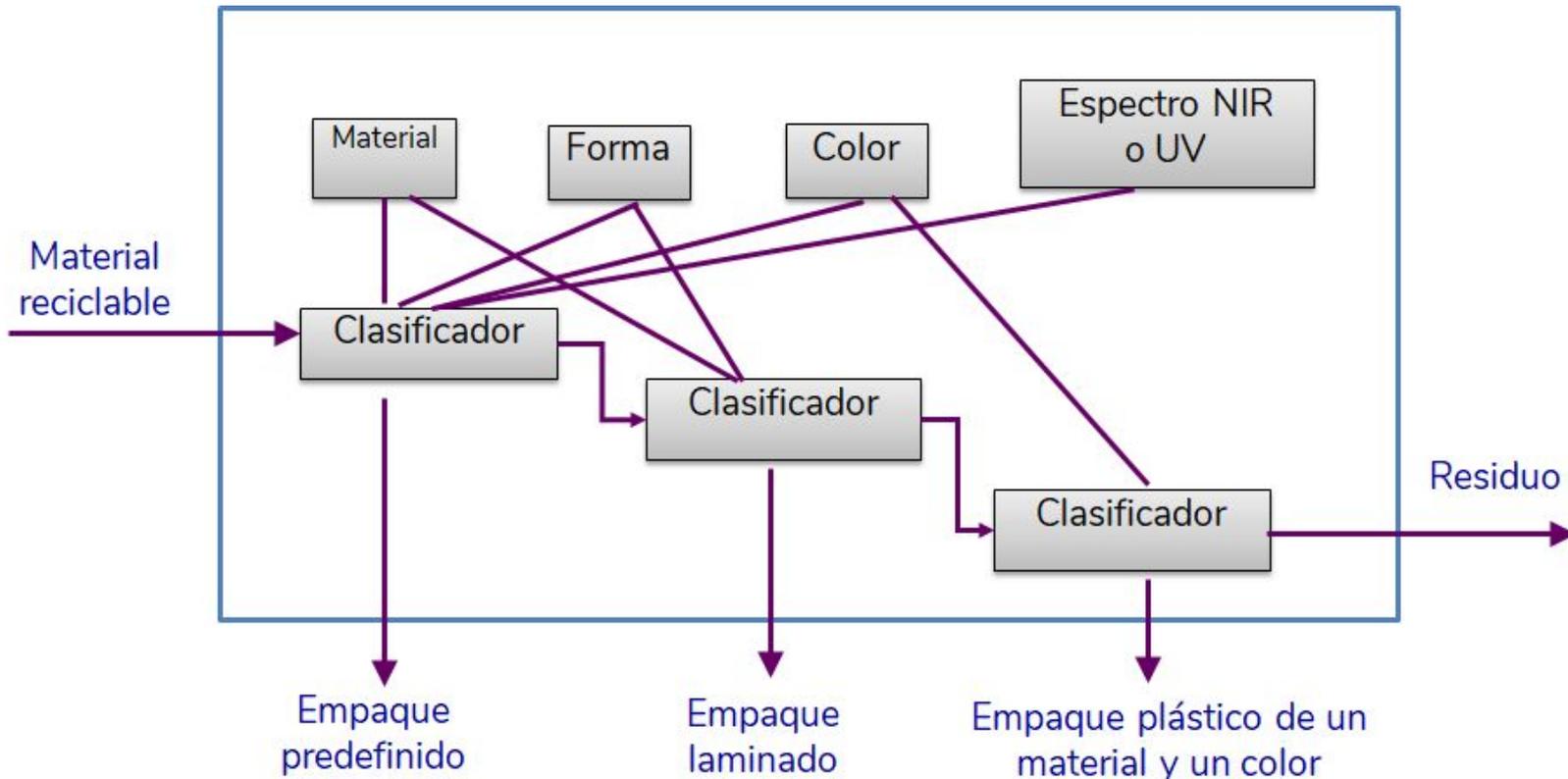
# Estructura de los polímeros más representativos

Acronym	Name	Structure	Acronym	Name	Structure
ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer		PET	poly(ethylene terephthalate)	
PS-E PS-F	embedded polystyrene polystyrene film		PI	polyimide	
EvAc	ethylene-vinyl acetate copolymer		PMMA	poly(methyl methacrylate)	
EvOH	ethylene-vinyl alcohol copolymer		POM	polyoxymethylene	
PA	polyamide		PP	polypropylene	
PAN	polyacrylonitrile		PPSU	poly(phenylene sulfone)	
PBT	poly(butylene terephthalate)		PSU	polysulfone	
PC	polycarbonate		PU	polyurethane	
PE	polyethylene		PVC	polyvinylchloride	
PEEK	polyetheretherketone		Sil	silicone polymer	

Gajarska, Z. (2021). Identification of 20 polymer types by means of laser-induced breakdown spectroscopy ( LIBS ) and chemometrics. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 6581–6594.

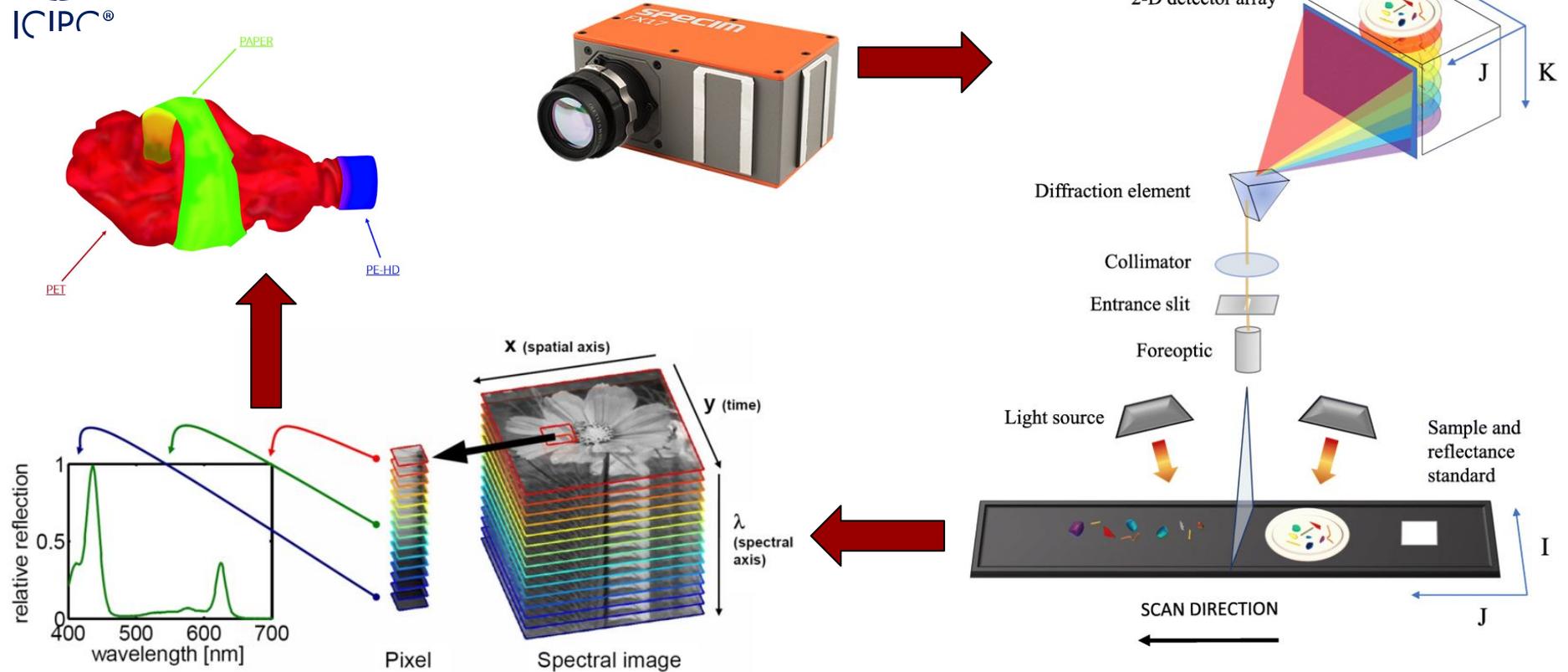
# Separación

## Interconexión de características y clasificadores





# Imágenes hiperespectrales





ICIPC®

# Separación - Imágenes hiperespectrales

## Principio del análisis de la emisión espectral inducida



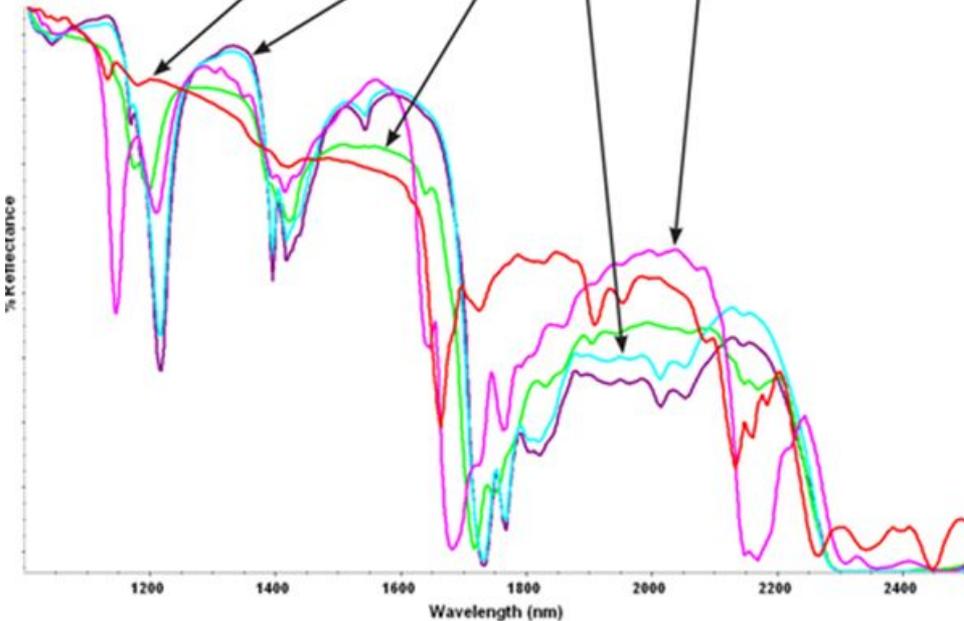
PETE

HDPE

PVC

LDPE

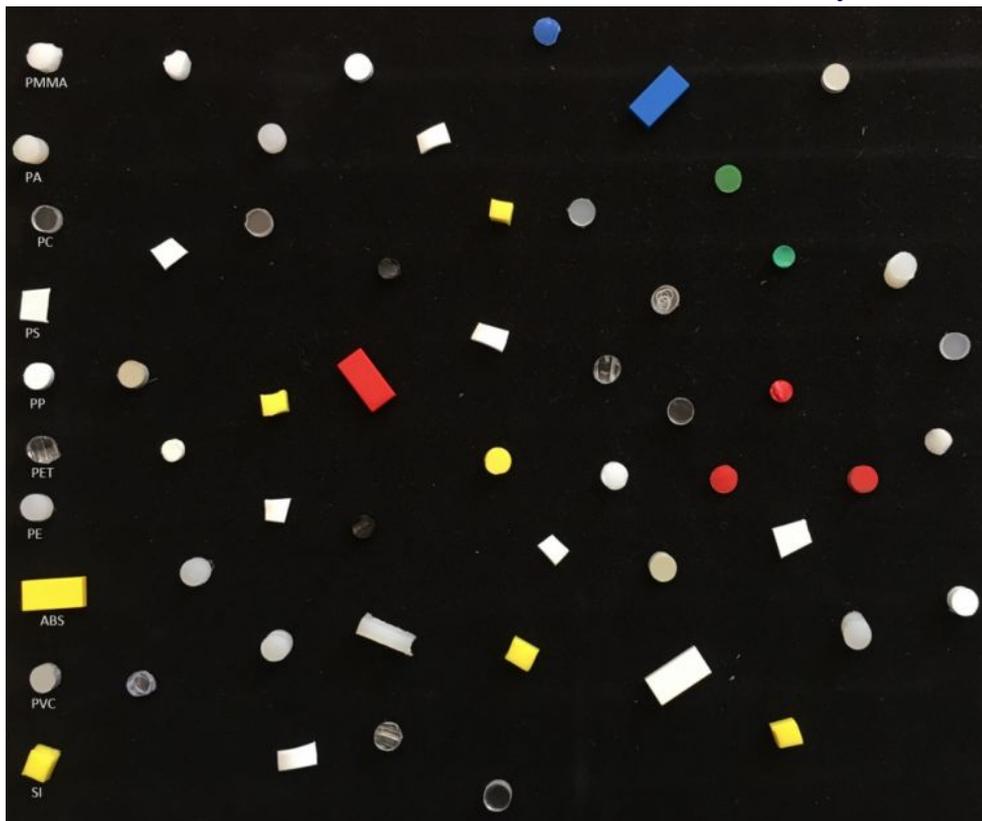
PS



Combina lo mejor de la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) con el reconocimiento de imágenes

# Separación usando imágenes hiperespectrales

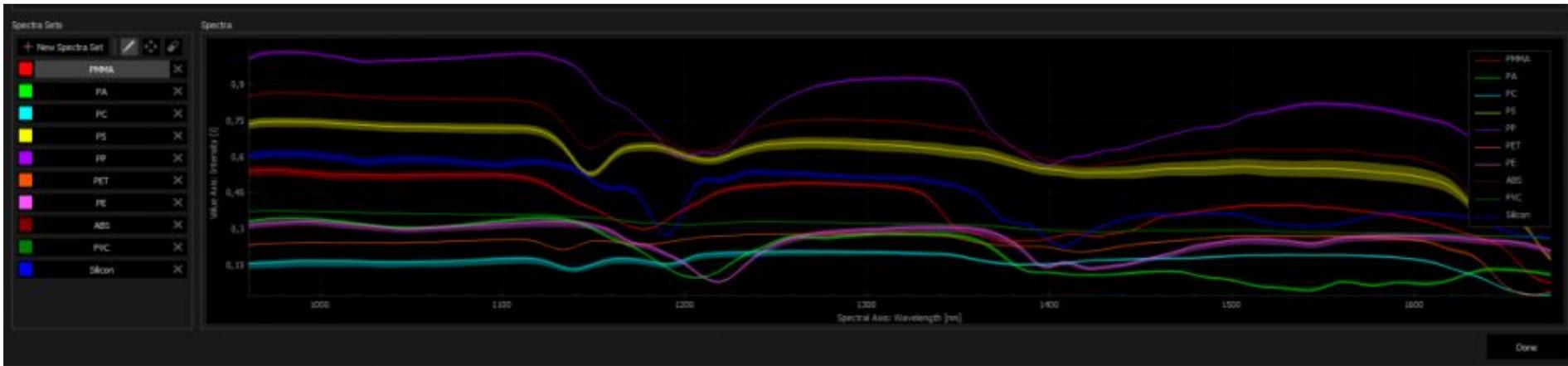
## Paso 1: Grabar un escenario representativo (calibración)



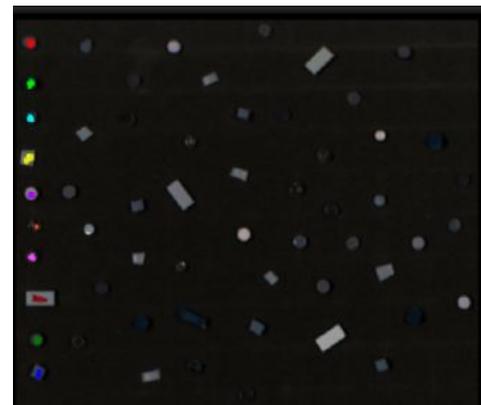
Registrar escenarios que sean representativos para la aplicación. En el ejemplo se toman diez plásticos diferentes con diferentes colores y grosores.

# Separación usando imágenes hiperespectrales

## Paso 2: Seleccionar los objetos representativos (calibración)



Se le asigna un color a cada banda de información espectral





# Separación usando imágenes hiperespectrales

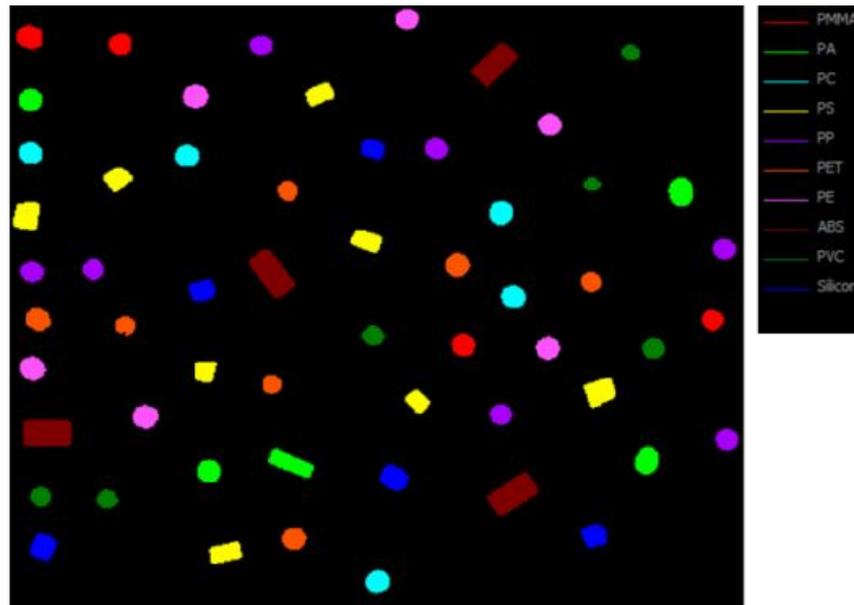
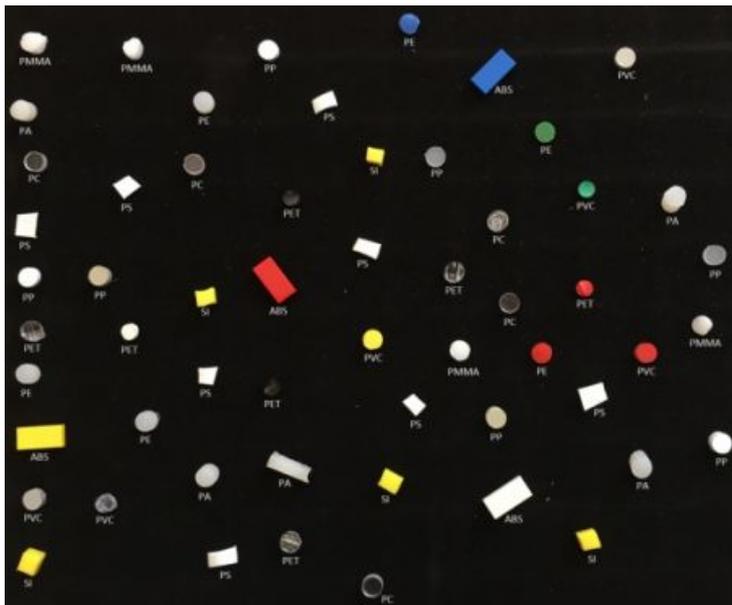
## Paso 3: Pre procesamiento de imágenes (calibración)



Las imágenes se pre procesan buscando la mejor diferenciación y resolución.

# Separación usando imágenes hiperespectrales

## Paso 4: Validación de la calibración



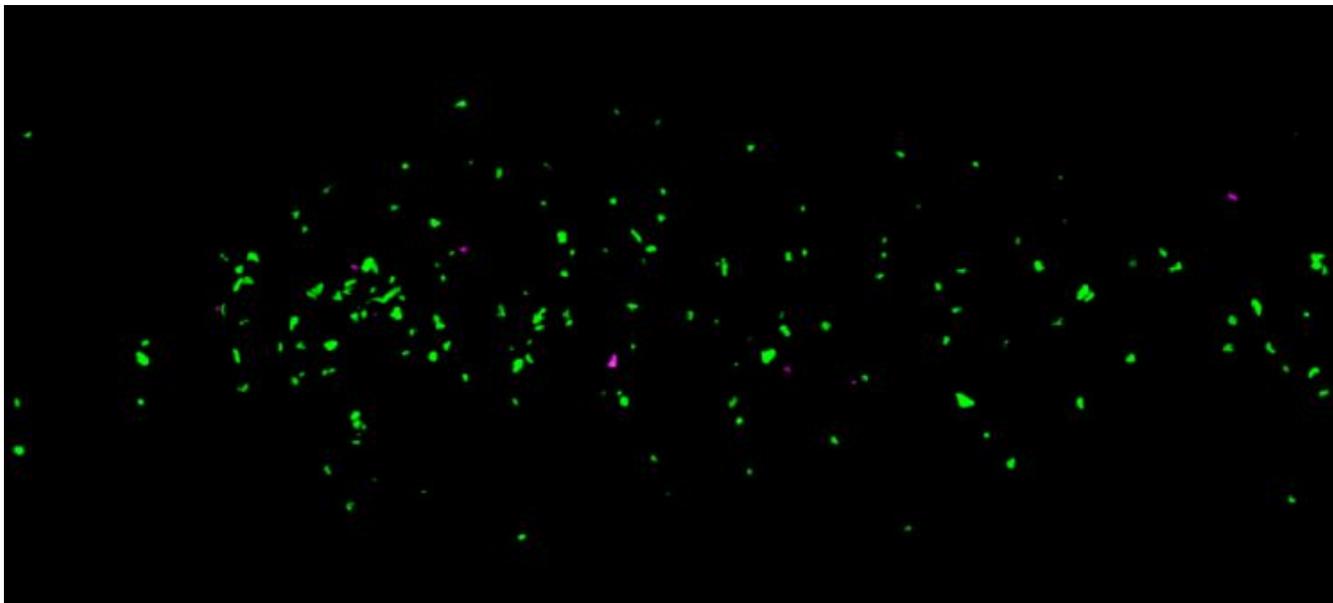
Se corre la identificación de los plásticos de la prueba

PMMA	4	7,0%	PET	7	12,3%
PA	5	8,8%	PE	6	10,5%
PC	5	8,8%	ABS	4	7,0%
PS	8	14,0%	PVC	6	10,5%
PP	7	12,3%	SI	5	8,8%



# Separación usando imágenes hiperespectrales

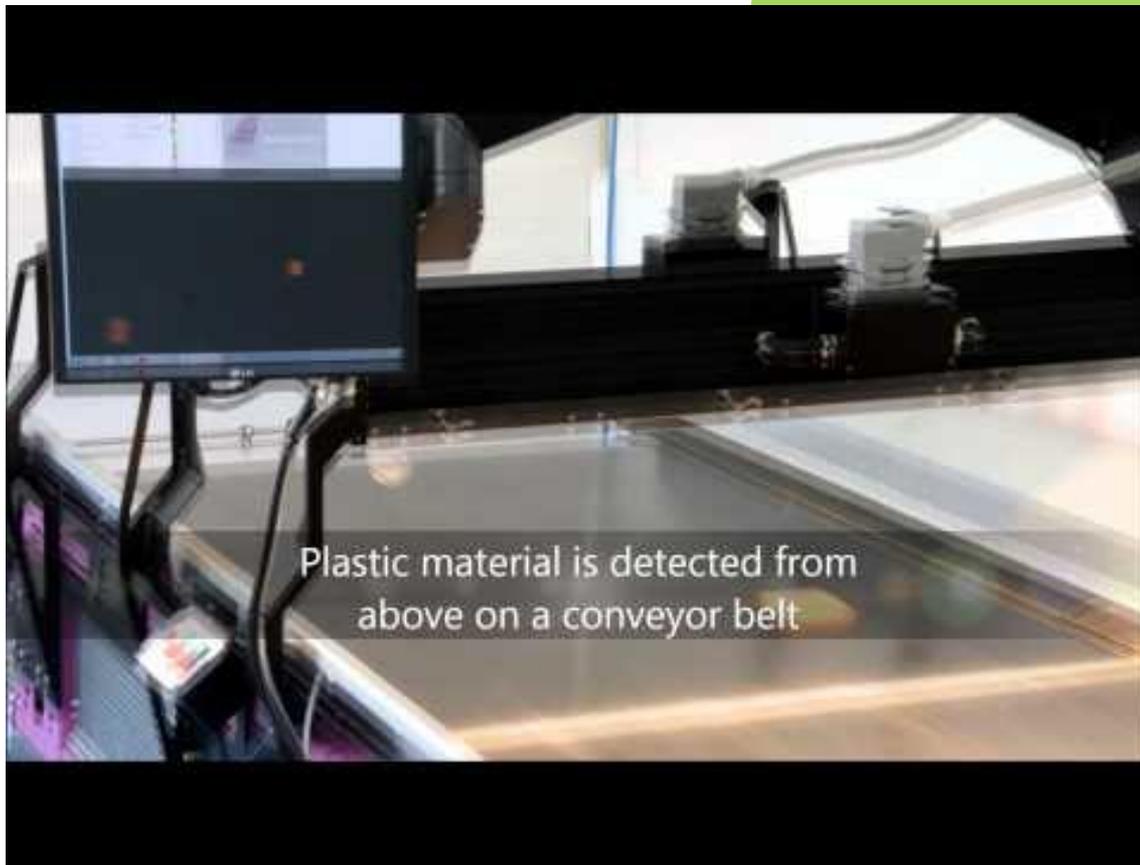
Paso 5: Se compila para su uso en separación en línea



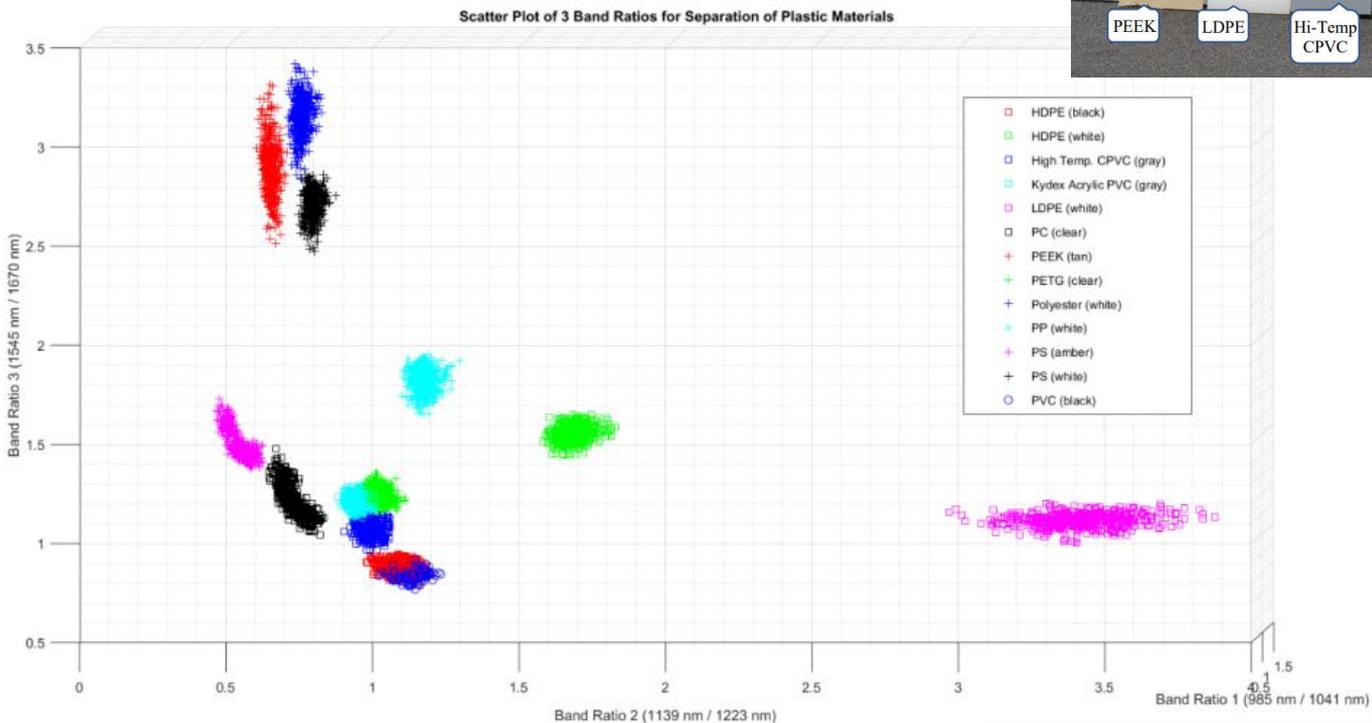
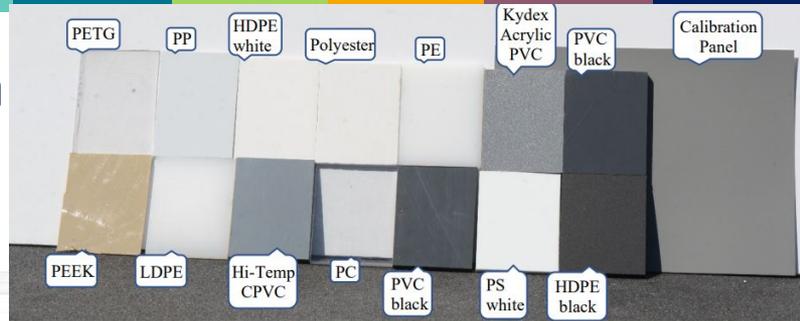
Separación de PE de una corriente de PP



# Imágenes hiperespectrales



# Imágenes hiperespectra

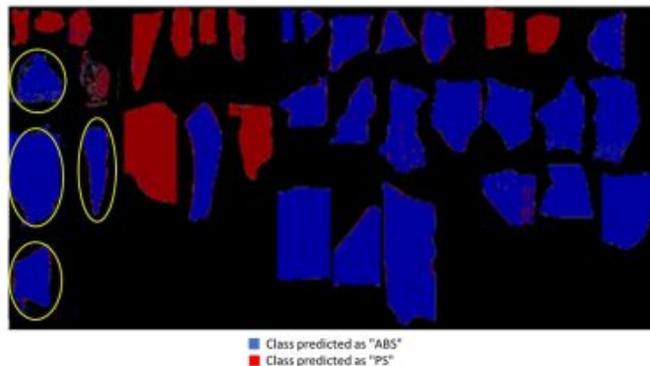
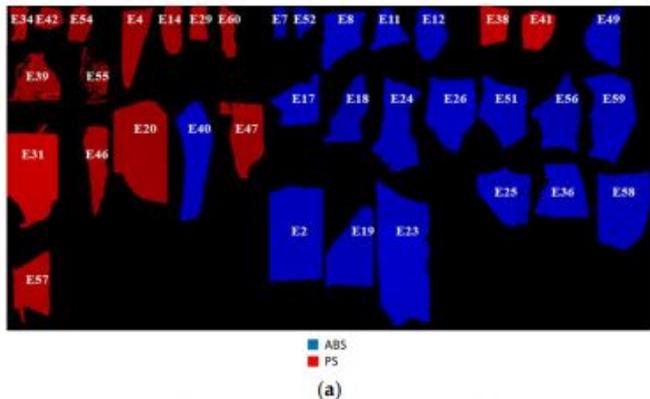


Alta velocidad de detección.

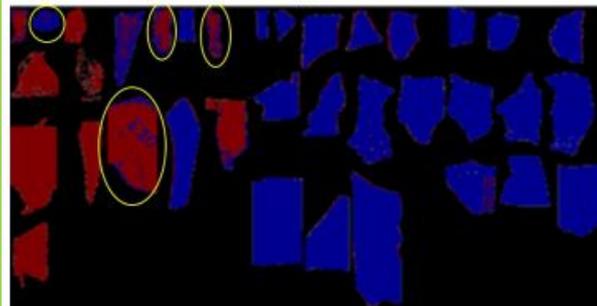
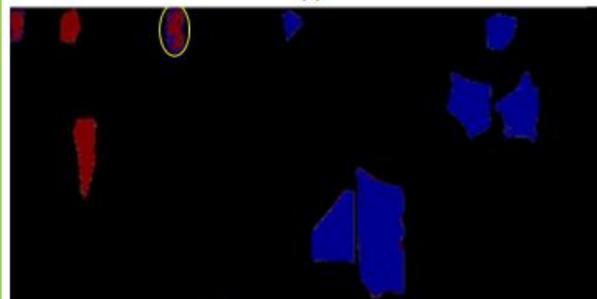
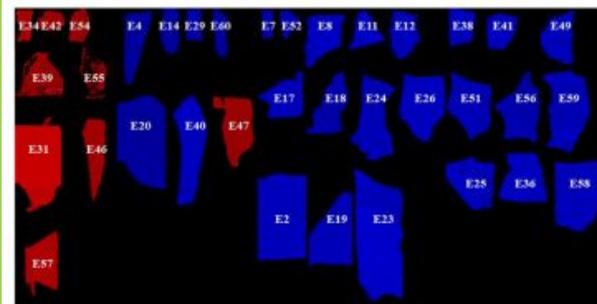
Detecta plásticos negros.

# Detección de plásticos bromados

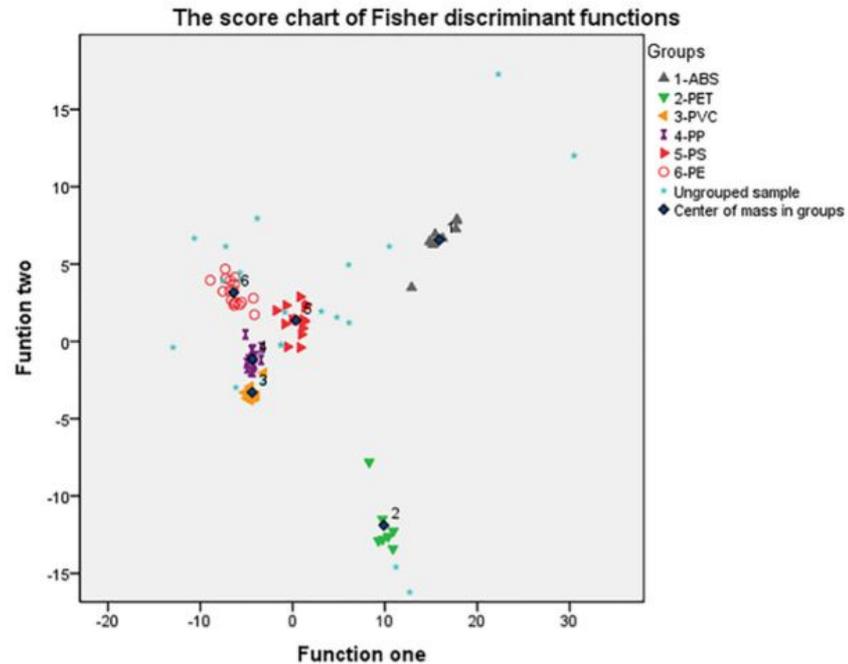
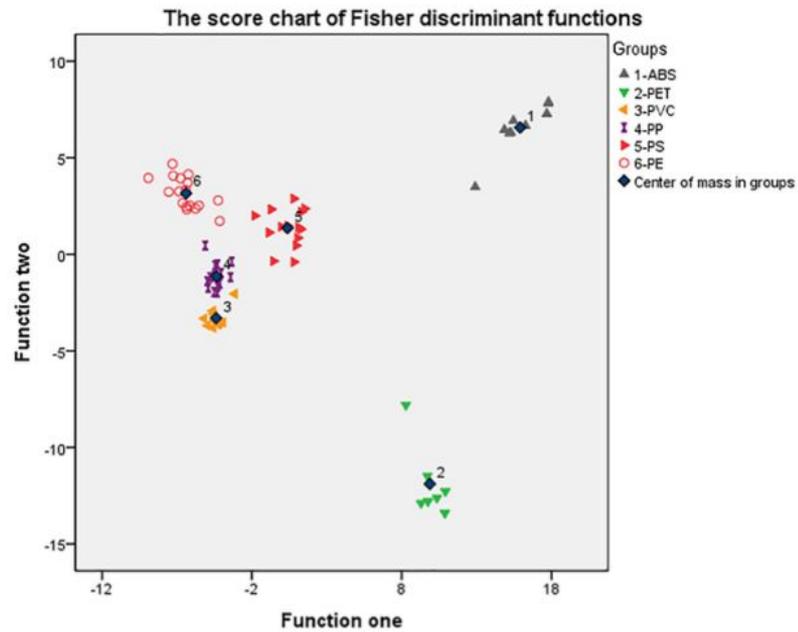
Identificación ABS - PS



Identificación Retardantes a la llama polibromados

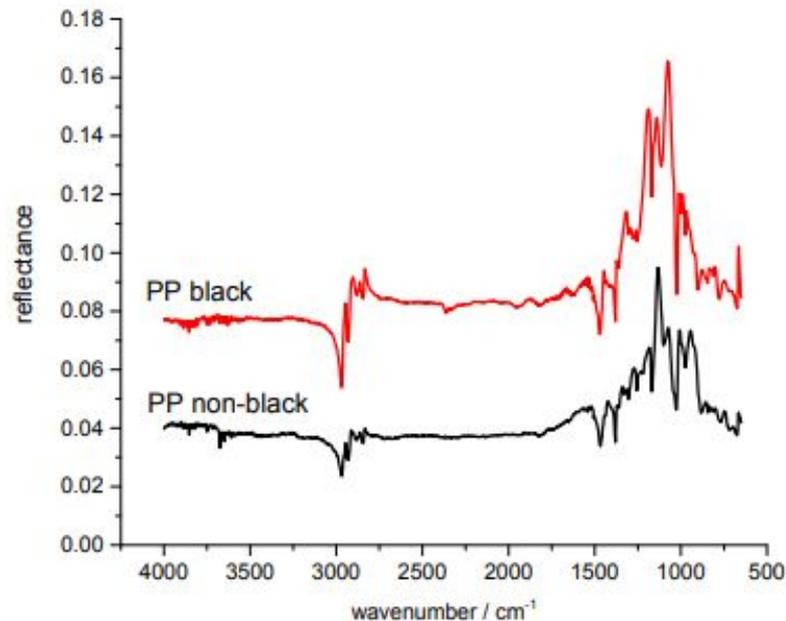
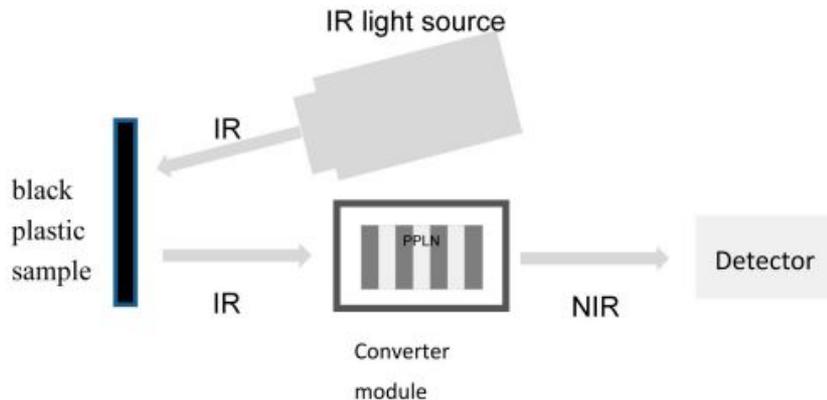


# Imágenes NIR hiperespectrales



# El espectro MIR

## Periodic Polarized Non Linear Lithium Niobate Oxide (PPLN)

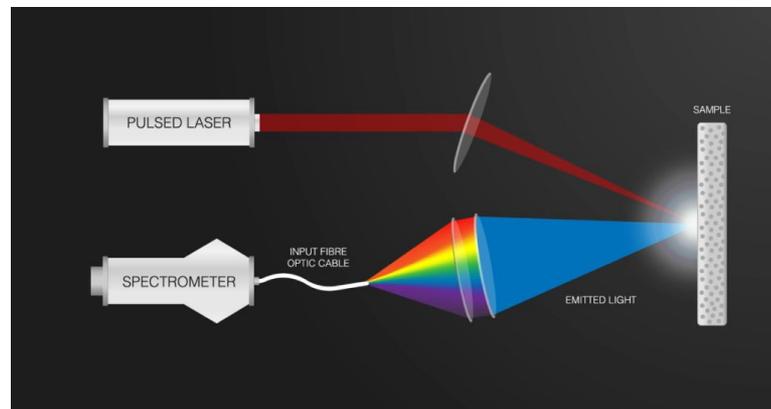


Detection of Black Plastics in the Middle Infrared Spectrum (MIR) Using Photon Up-Conversion Technique for Polymer Recycling Purposes. Wolfgang Becker, Kerstin Sachsenheimer and Melanie Klemenz. Fraunhofer Institut fuer Chemische Technologie (ICT)

# LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy

Hitachi High-Tech Analytical Science

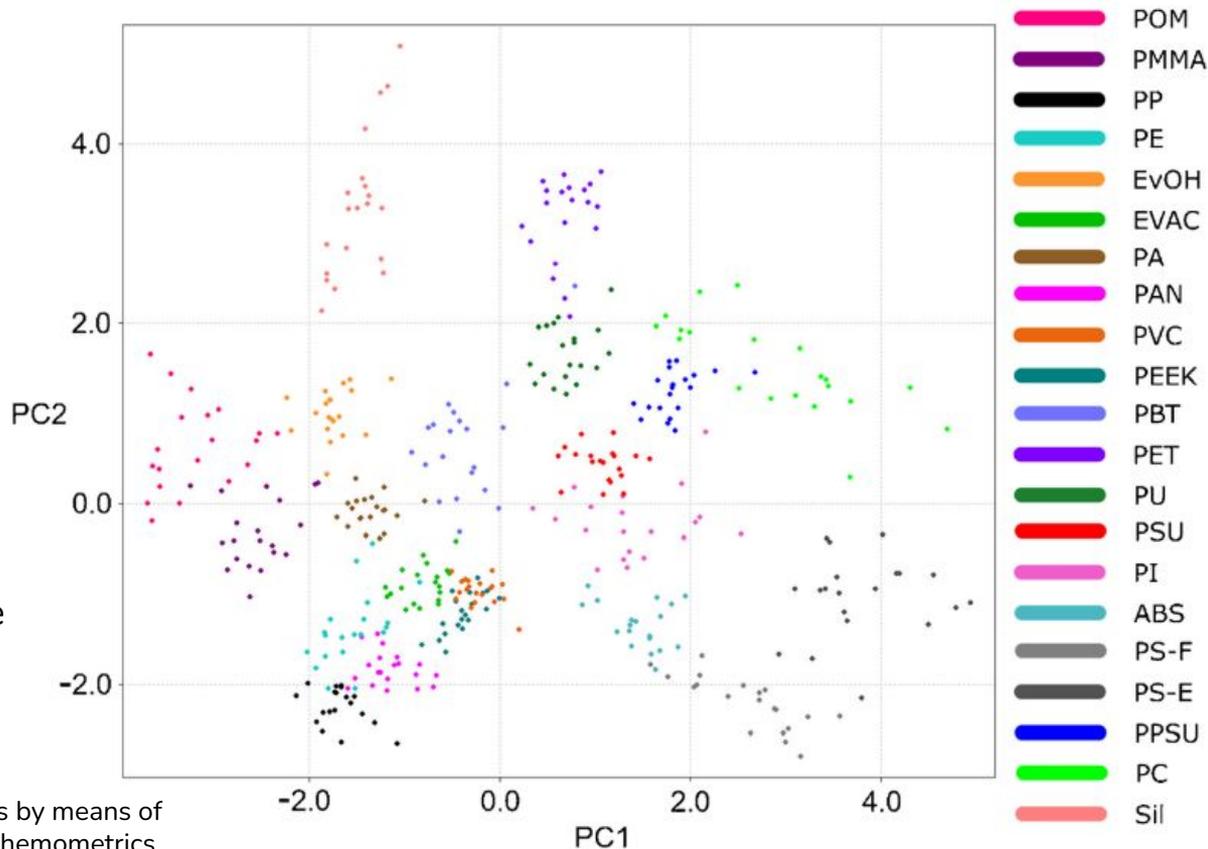
What is Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)?



Importance	Emission signal	Descriptor type	Integrated wavelength range [nm]
1	O (I)	ABL	776.51–778.42
2	C (I)	ABL	247.44–248.44
3	C (I)	ABL	192.59–193.41
4	C2 Swan band delta $\nu$ -1	PRW	469.38
5	C (I)	PLV	247.87 (bl, 187.98)
6	H (I)	ABL	650.19–663.74
7	O (I)	PBL	776.01–779.14
8	Si (I)	PRW	251.60
9	CN violet band	PBL	383.39–389.72
10	C2 Swan band delta $\nu$	PLV	516.61 (bl, 187.98)

# LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy

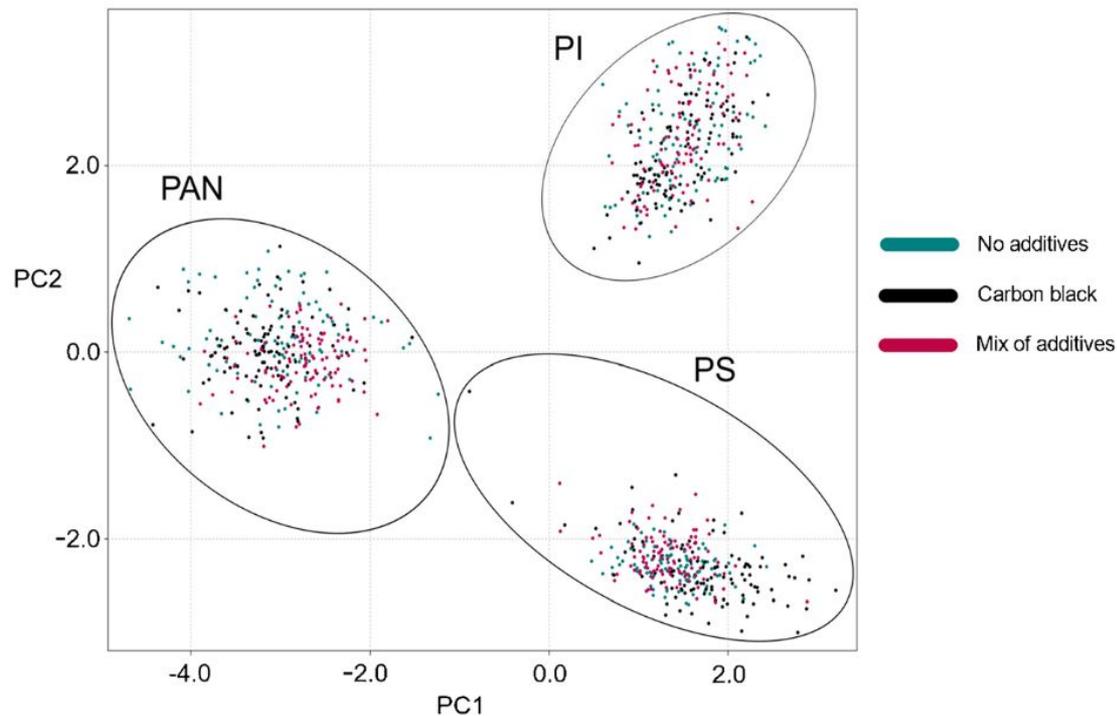
Condiciones LIBS: 100% energía  
laser, 0.1  $\mu\text{m}$  desfase, atmósfera de  
argón



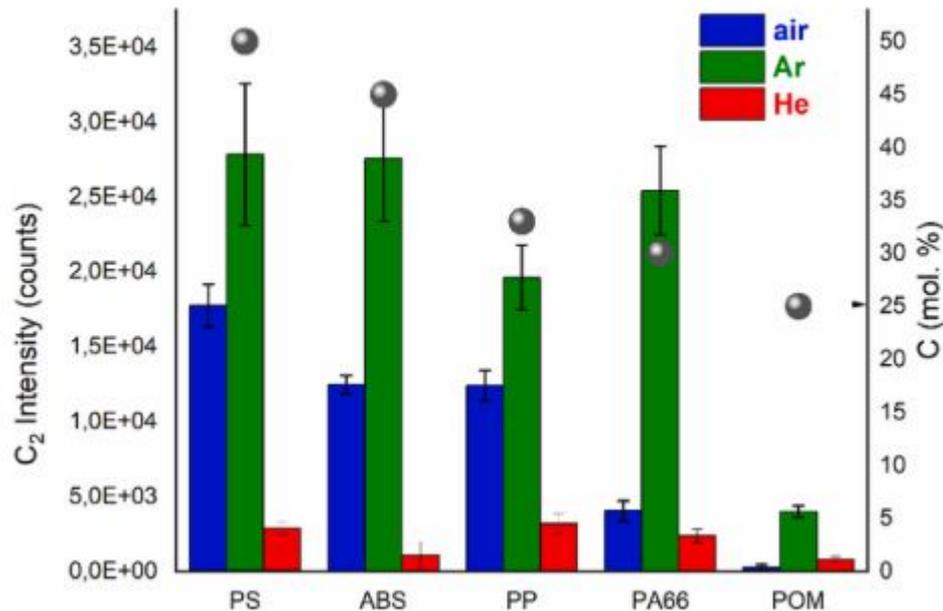
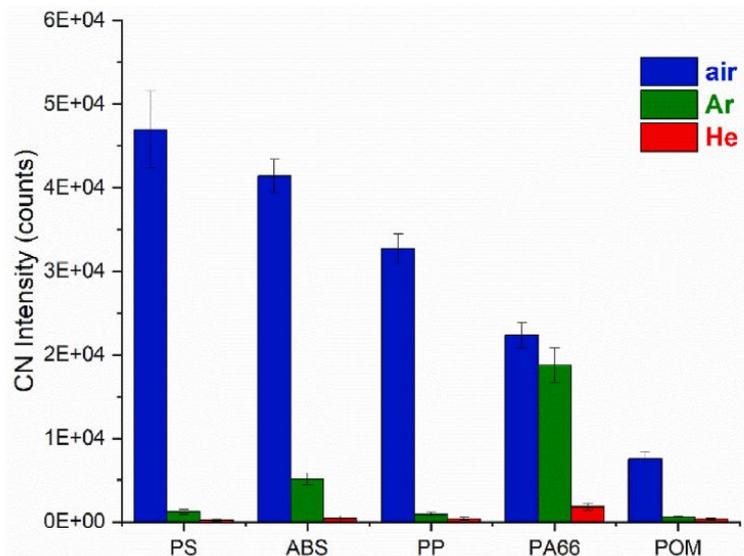
# LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy

La presencia de aditivos no interfiere con la descrimicación de los polímeros.

Mide sobre piezas negras



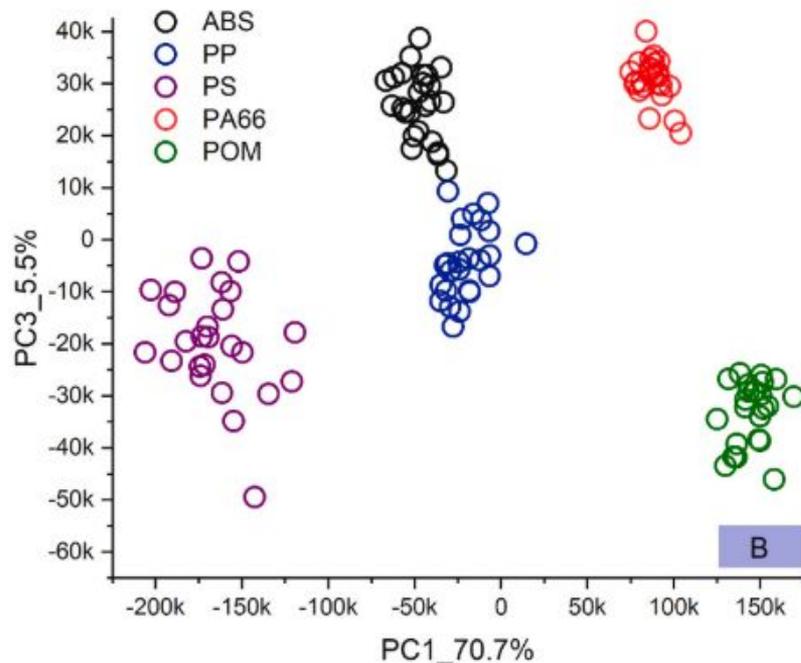
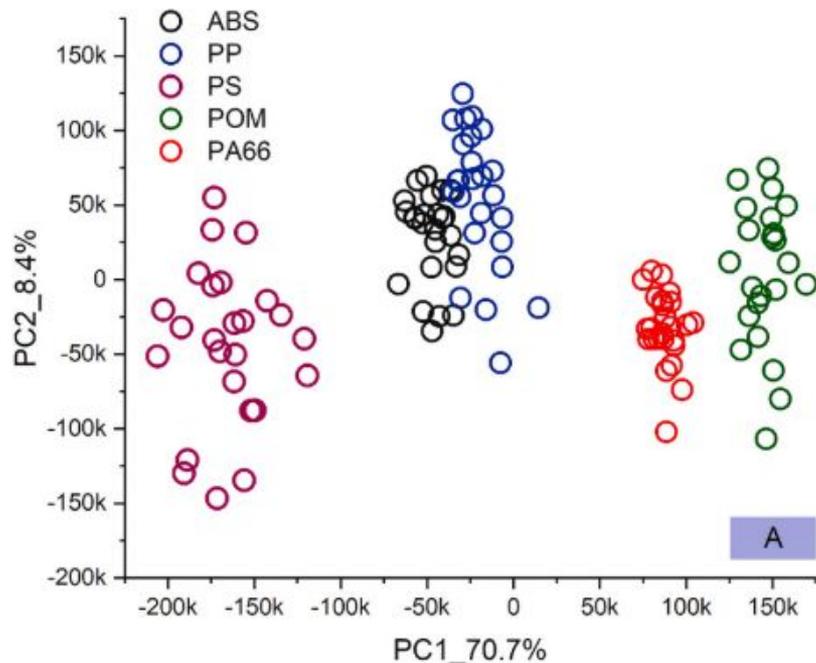
# LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy



Gajarska, Z. (2021). Identification of 20 polymer types by means of laser-induced breakdown spectroscopy ( LIBS ) and chemometrics. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 6581–6594.

# LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy

## Resolución de los clusters en aire

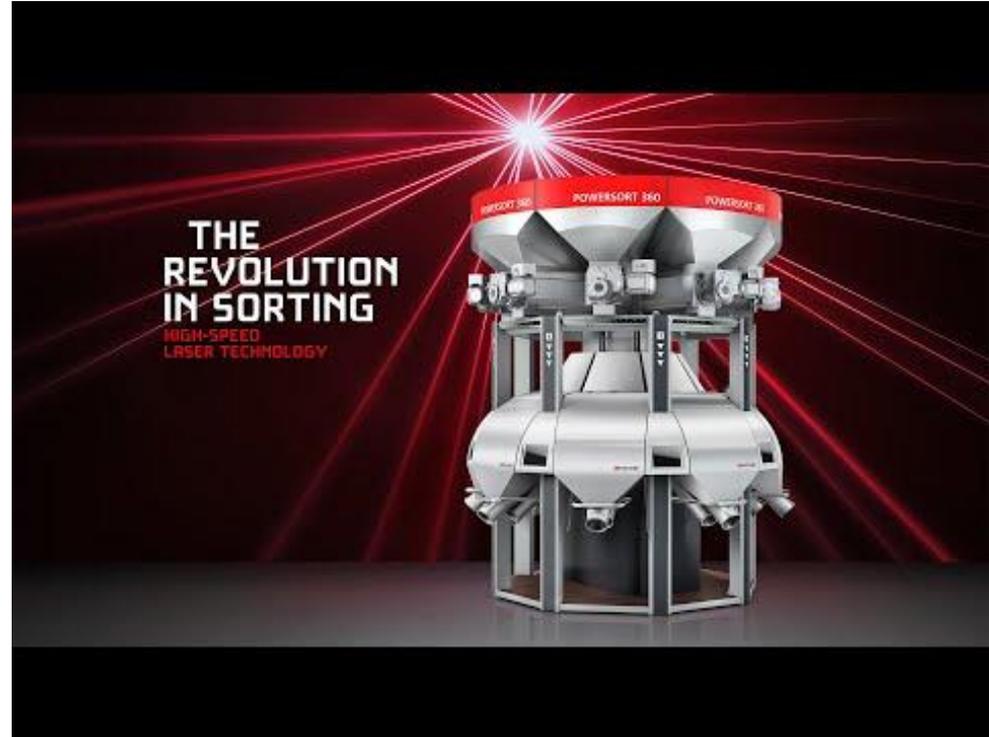


Gajarska, Z. (2021). Identification of 20 polymer types by means of laser-induced breakdown spectroscopy ( LIBS ) and chemometrics. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 6581–6594.



# LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy

- No interfieren los aditivos
- Es posible determinar si tienen retardantes a la llama
- No interfiere el color
- Tiene una exactitud del 99.5%
- Tiene una velocidad de clasificación de 0.096 ms
- Hasta 10,000 kg/h



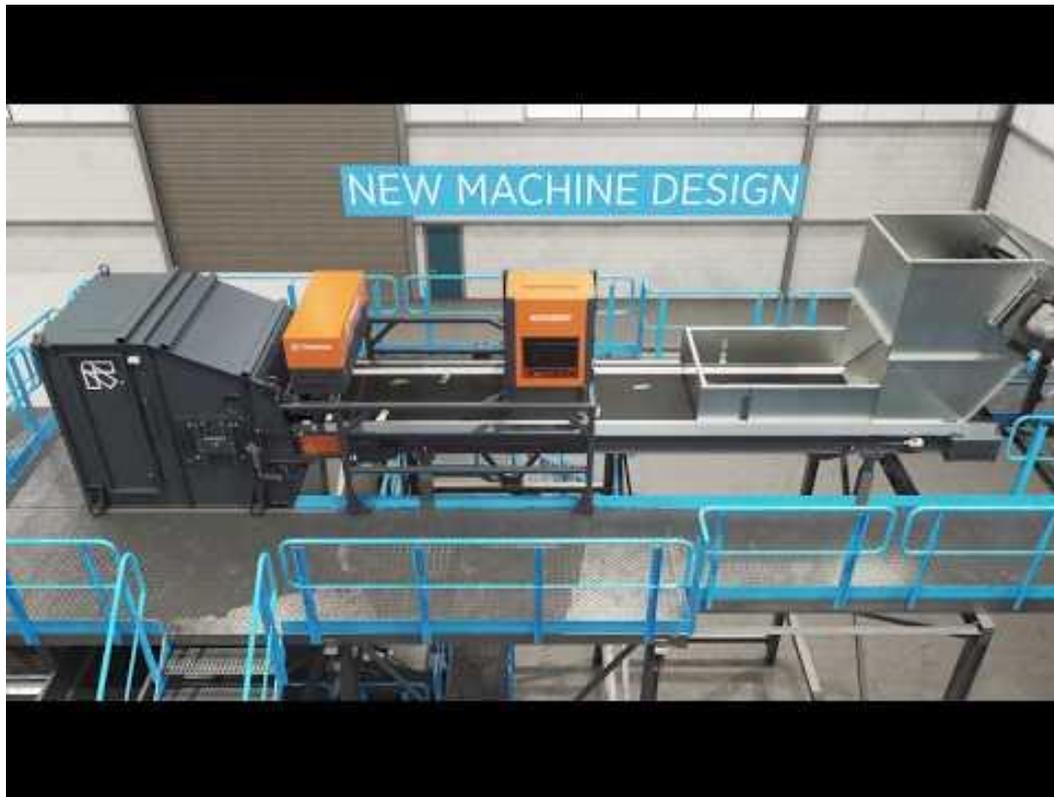
<https://www.youtube.com/watch?v=qVBLWhxlvU>

Rapid classification of plastics by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) coupled with partial least squares discrimination analysis based on variable importance (VI-PLS-DA). Ke Liu, Di Tian, Hongxia Wang and Guang Yang

# Separación

## Separador por espectro infrarrojo cercano (NIR)

- La tecnología actual disponible permite separar por:
  - Colores
  - Tipos de Polímero (PET, PP, PVC, PS LDPE, LLDPE, HDPE, PCB)
  - Metal-polimero





# Sorter - Clasificación por tipo de material

SORTEX E PolyVision - BUHLER



Packaging



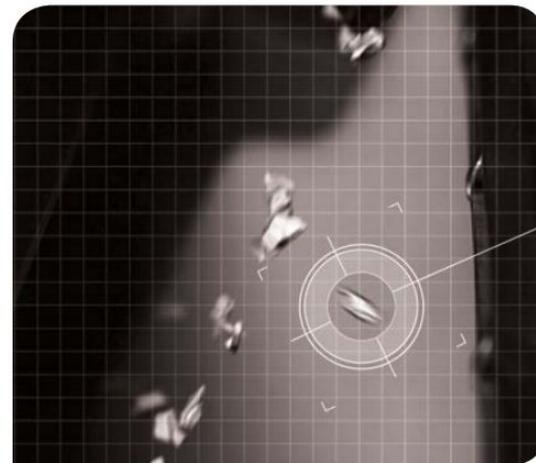
Construction



Electronic waste &  
End-of-Life Vehicles



Petrochemical

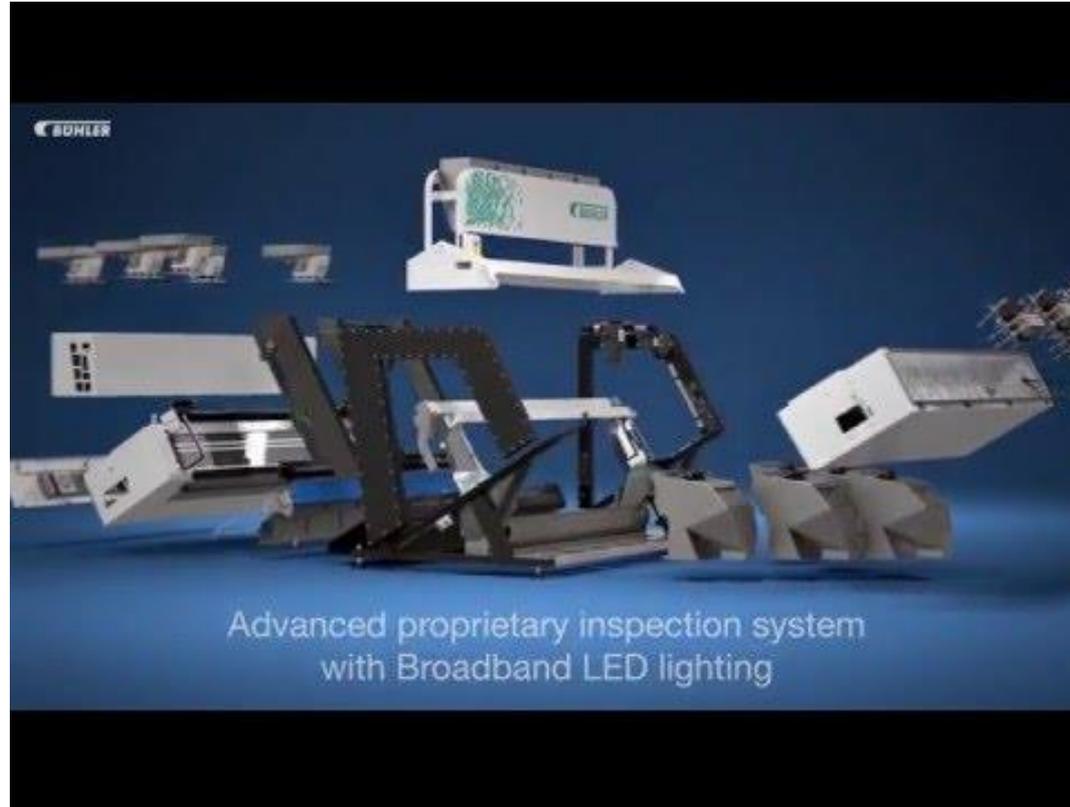


Separa PVC de PET



# Sorter - Clasificación por colores, forma, tamaño

SORTEX A PolyVision - BUHLER

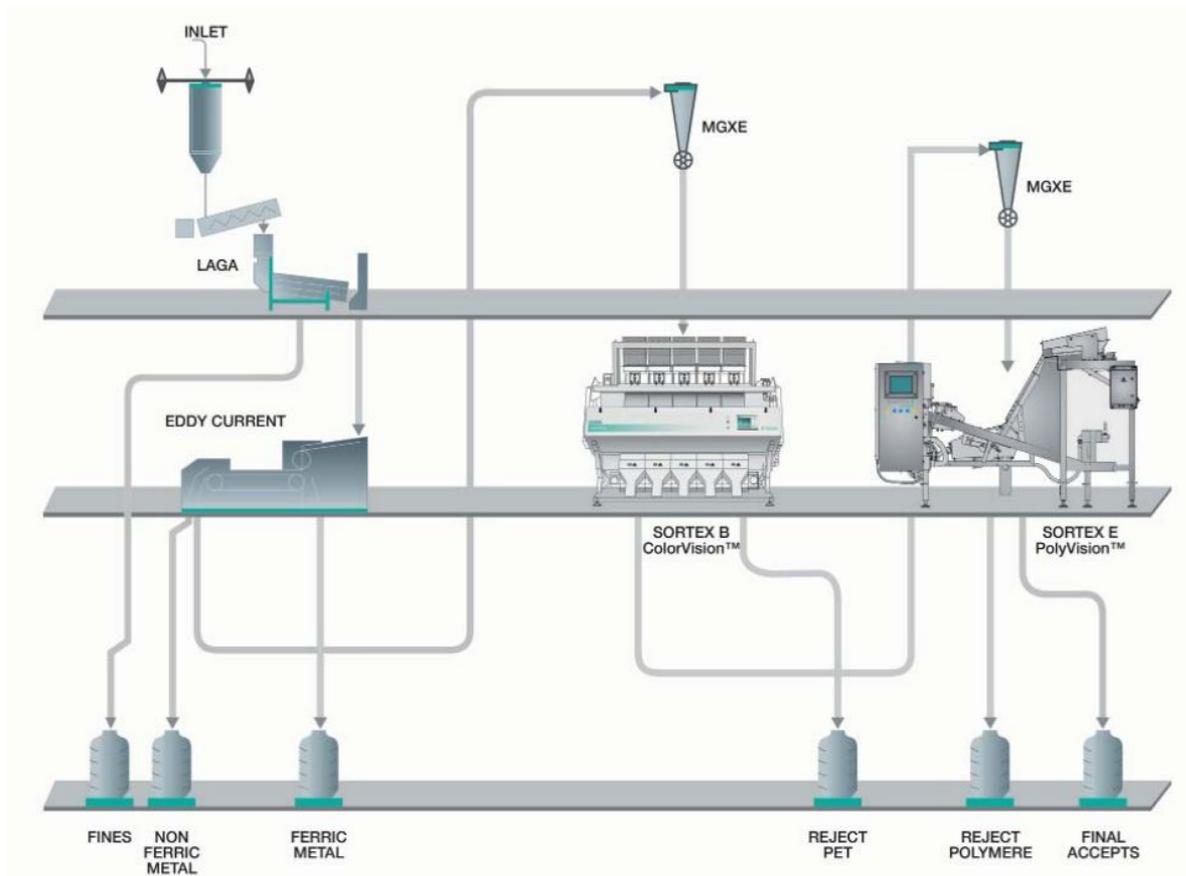


# Configuración de línea para el reciclaje de PET

BUHLER

Proceso automático que separa

- Finos
- Materiales no ferrosos
- Materiales ferrosos
- PET rechazado por colores
- PET aceptado
- PVC, PS



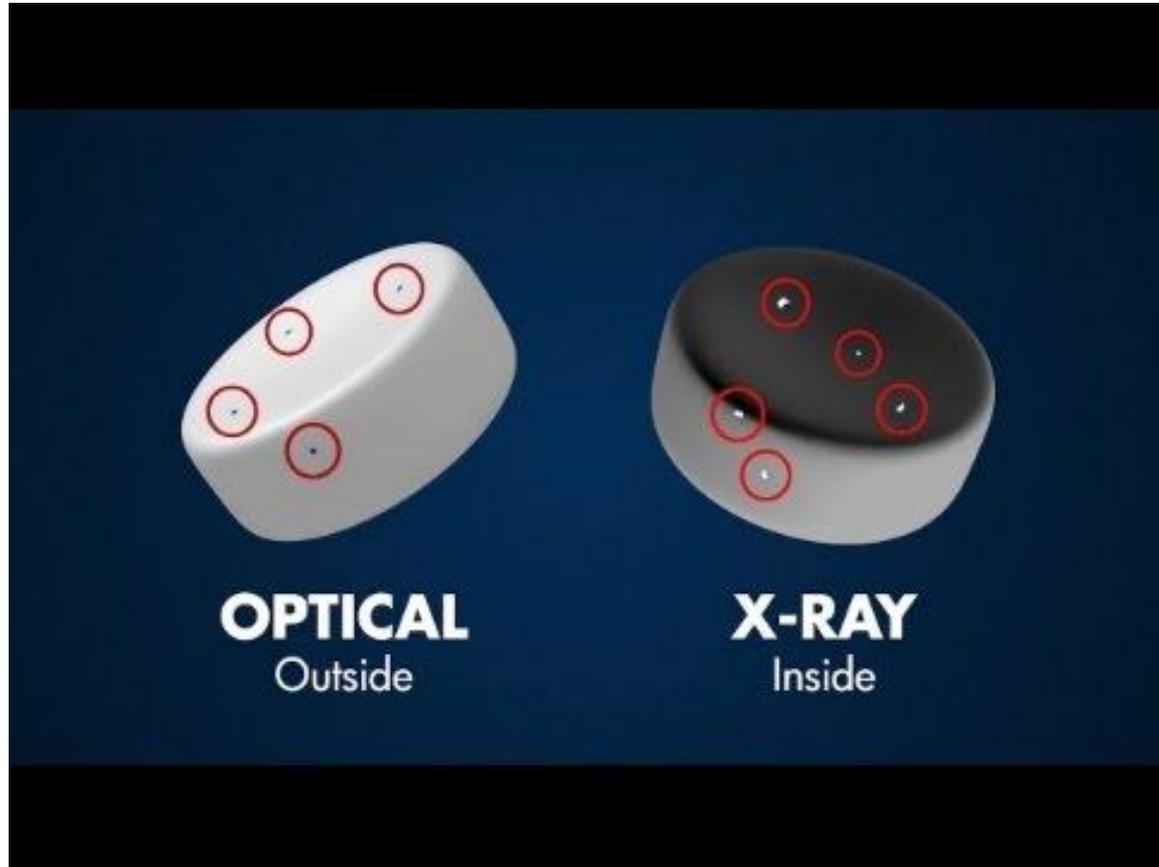


# Purity Scanner

SIKORA

Sistema que detecta contaminación y defectos en los gránulos.

- Utiliza proceso de tratamiento de imágenes con diferentes fuentes de luz.
- Utiliza fuente de rayos x
- Velocidad de producción hasta 800 kg/h
- Podría adaptarse a selección de materiales.





# Separación por Robots



<https://www.youtube.com/watch?v=tulyOAq1PGk>

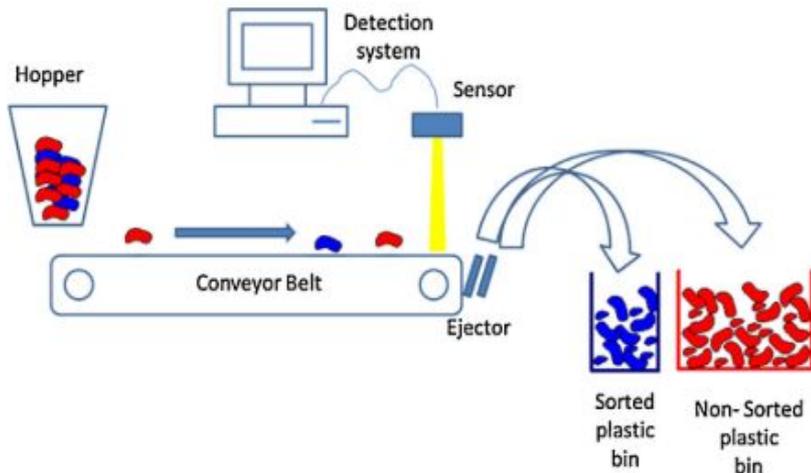
# Propiedades de los reciclados como función del esquema de separación espectrométrica

Sorting system characteristics of device 1.

Work width	500 mm
Conveyor speed	1.5 m/s
Capacity	800–1000 kg/h
Sorted polymers	ABS, ABS/PC, PVC, PC, HIPS
Dark or black samples	Non sorted
Size of analyzed samples	10–20 mm

Characteristics of the new device 2.

Work width	800 mm
Conveyor speed	2.5 m/s
Capacity	2 t/h
Sorted polymers	11
Dark or black samples	Non sorted
Size of analyzed samples	5–200 mm



Mass composition of each studied lot.

PW	ABS	ABS/PC	HiPS	Other polymers	Black polymers	Other material
1	63%	37%				
2	39%		22%	16%	21%	2%
3	40.3%	14.4%	2.6%	2.4%	31.2%	9.2%

Study of the physico-chemical properties of recycled polymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE) sorted by high resolution near infrared devices Joana Beigbedera, Didier Perrin, Jean-Francois Mascaro, José-Marie Lopez-Cuesta

# Propiedades de los reciclados como función del esquema de separación espectrométrica

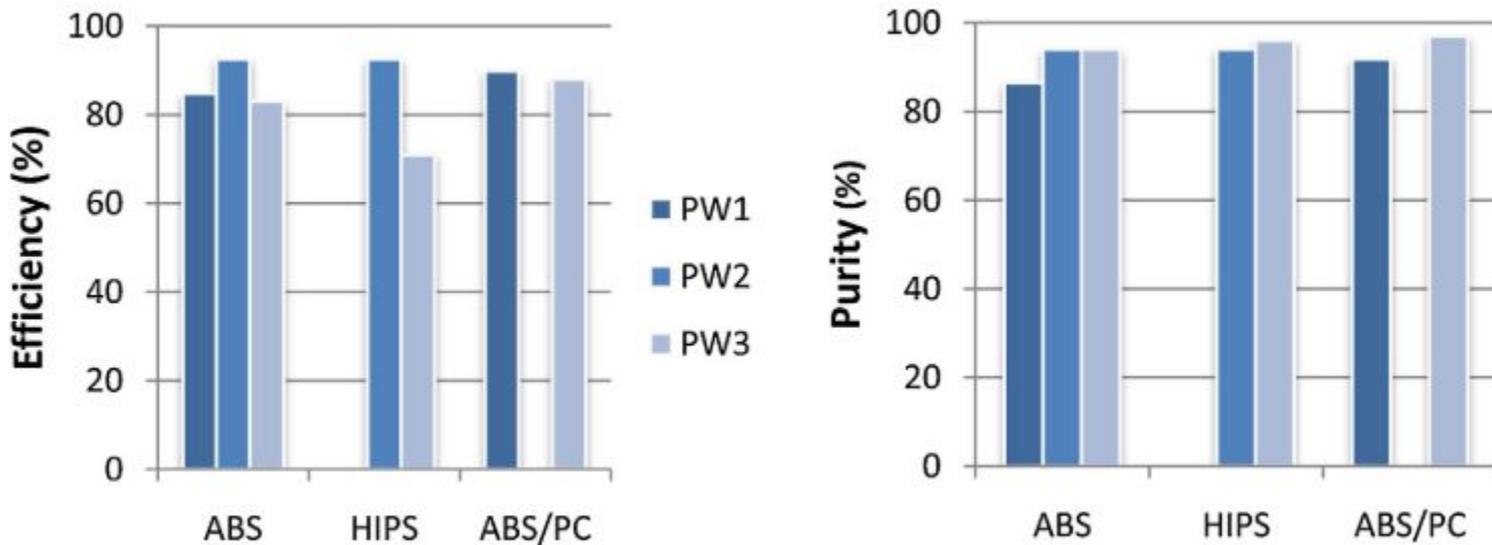
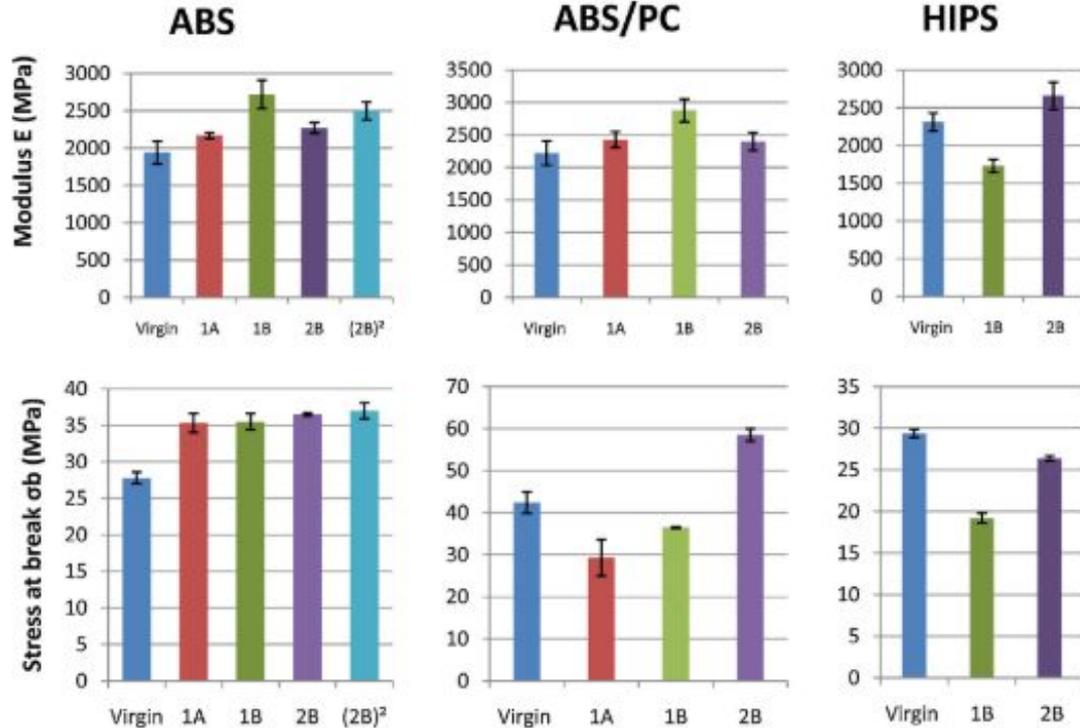


Fig. 2. Sorting performances of the device 2 with database B.

# Propiedades de los reciclados como función del esquema de separación espectrométrica

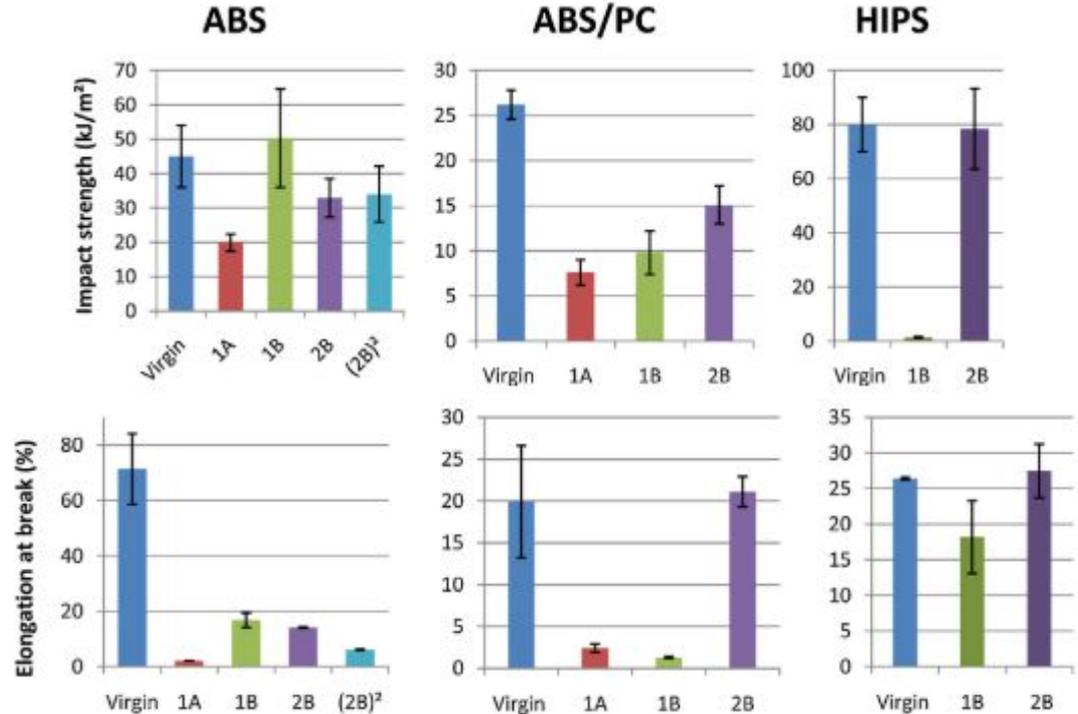


Study of the physico-chemical properties of recycled polymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE) sorted by high resolution near infrared devices Joana Beigbedera, Didier Perrin, Jean-Francois Mascaro, José-Marie Lopez-Cuesta

# Propiedades de los reciclados como función del esquema de separación espectral

Altamente dependiente de la base de datos de comparación para la separación.

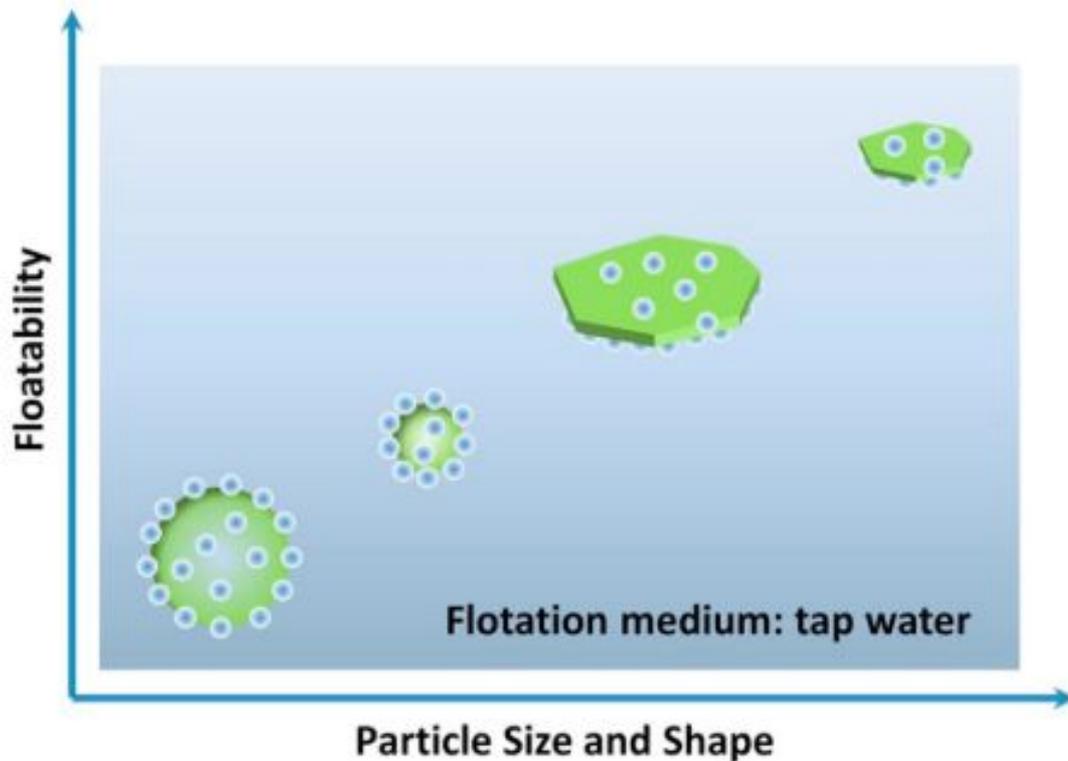
Alta pureza → Mejores propiedades





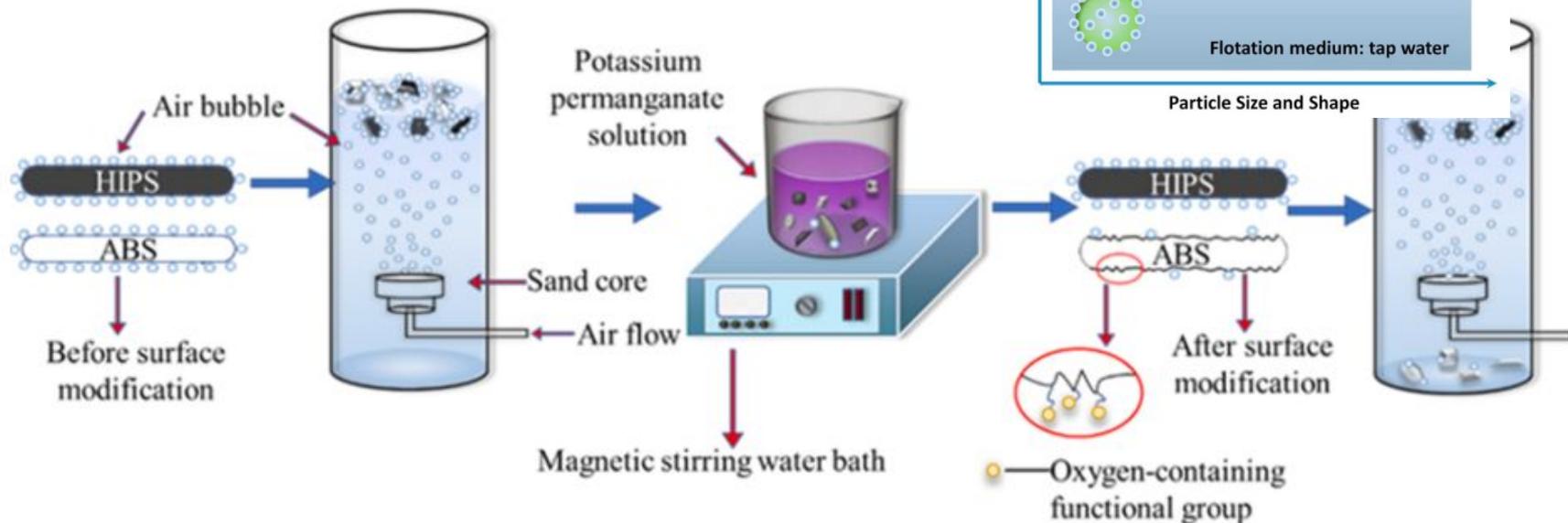
## ***5. Separación por flotación***

# Separación por flotación



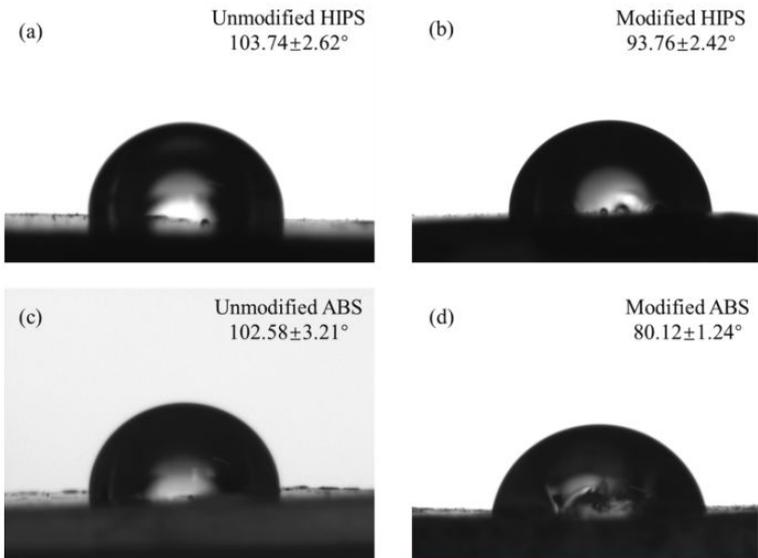
La forma y el tamaño de la partícula tiene una gran influencia sobre el proceso de flotación

# Separación por flotación

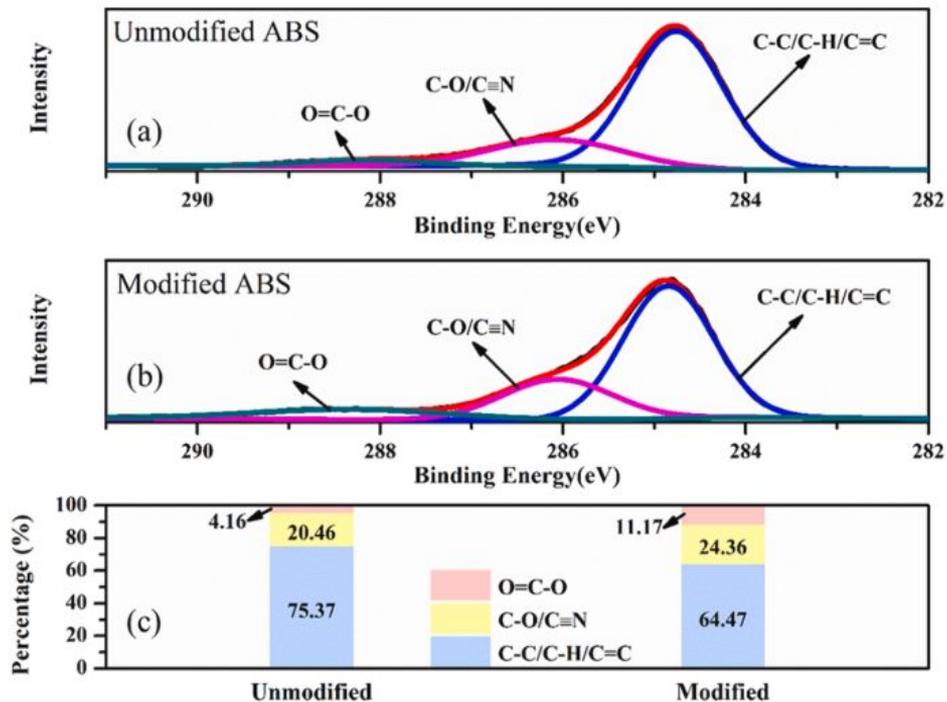


Flotation separation of acrylonitrile-butadienestyrene (ABS) and high impact polystyrene (HIPS) from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by potassium permanganate surface modification Yu Cui, Yingchun Li, Wensheng Wang, Xiaojing Wang, Jing Lin, Xianmin Mai, Gang Song, Nithesh Naik, Zhanhu Guo

# Separación por flotación

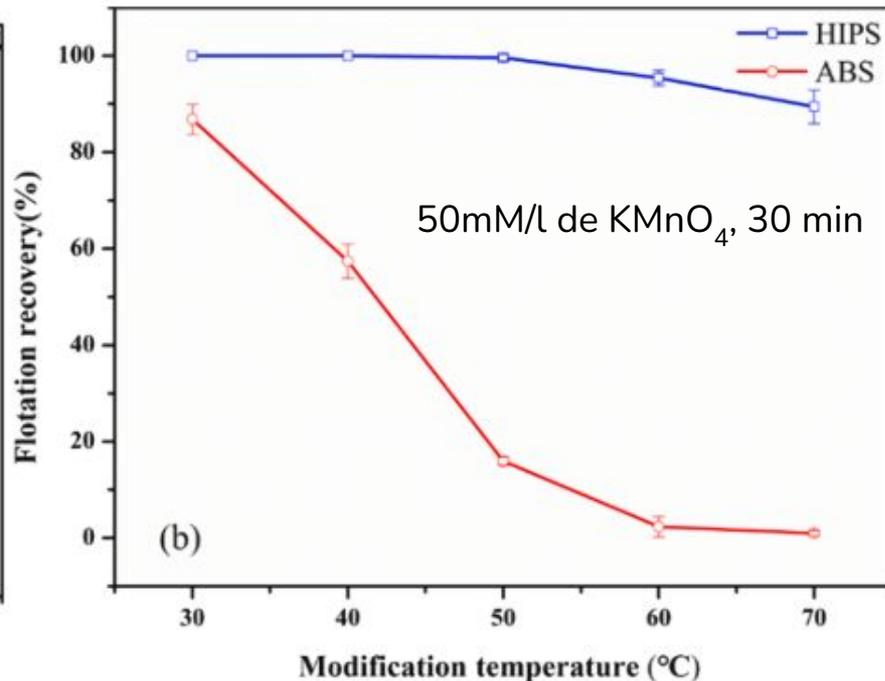
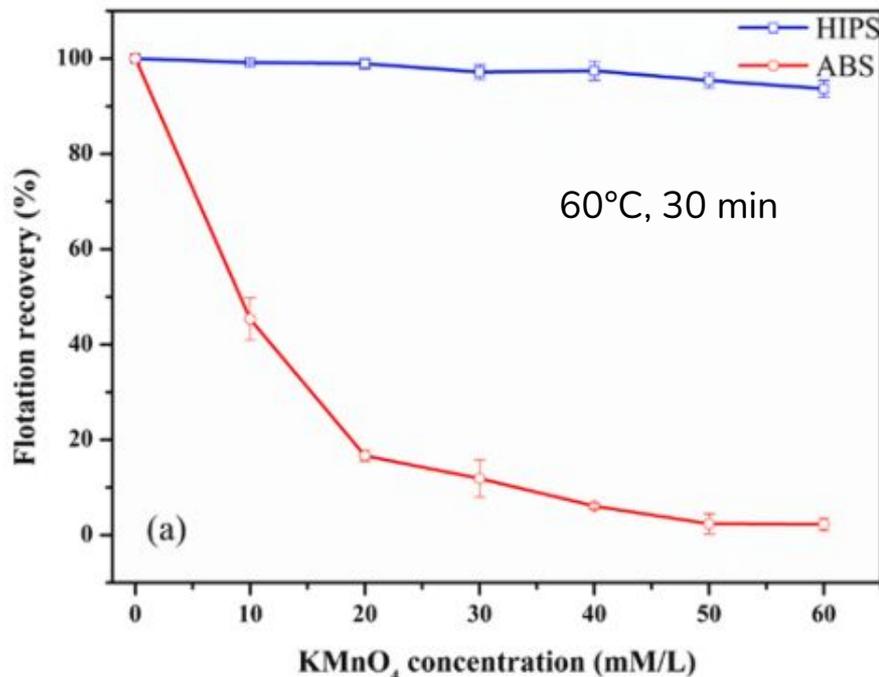


## Espectroscopia fotoelectrónica de rayos X



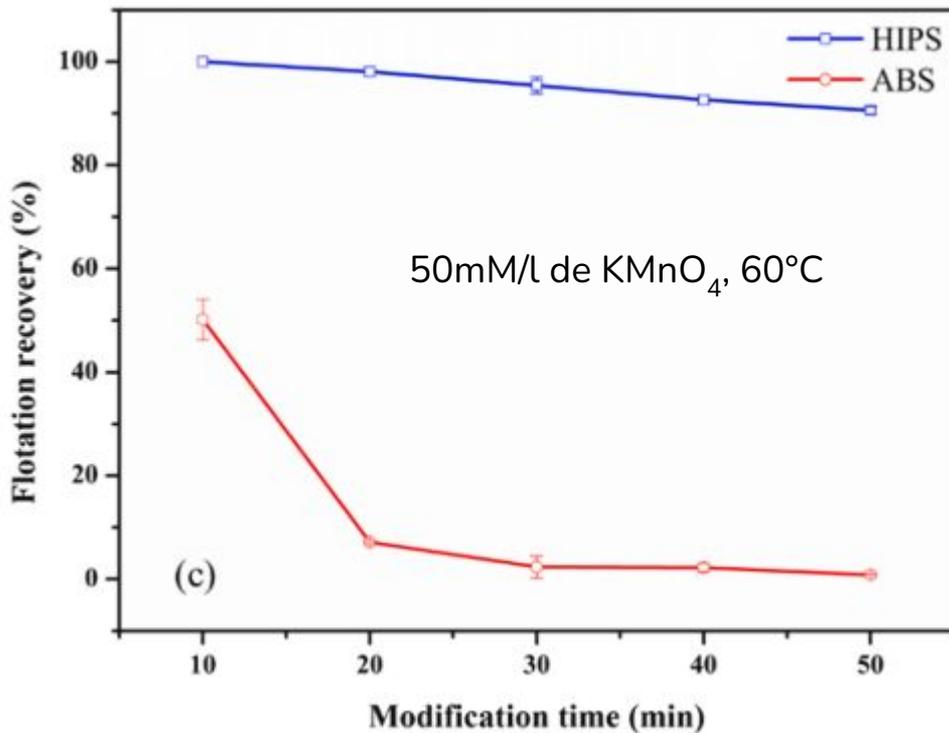
Flotation separation of acrylonitrile-butadienestyrene (ABS) and high impact polystyrene (HIPS) from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by potassium permanganate surface modification Yu Cui, Yingchun Li, Wensheng Wang, Xiaojing Wang, Jing Lin, Xianmin Mai, Gang Song, Nithesh Naik, Zhanhu Guo

# Separación por flotación



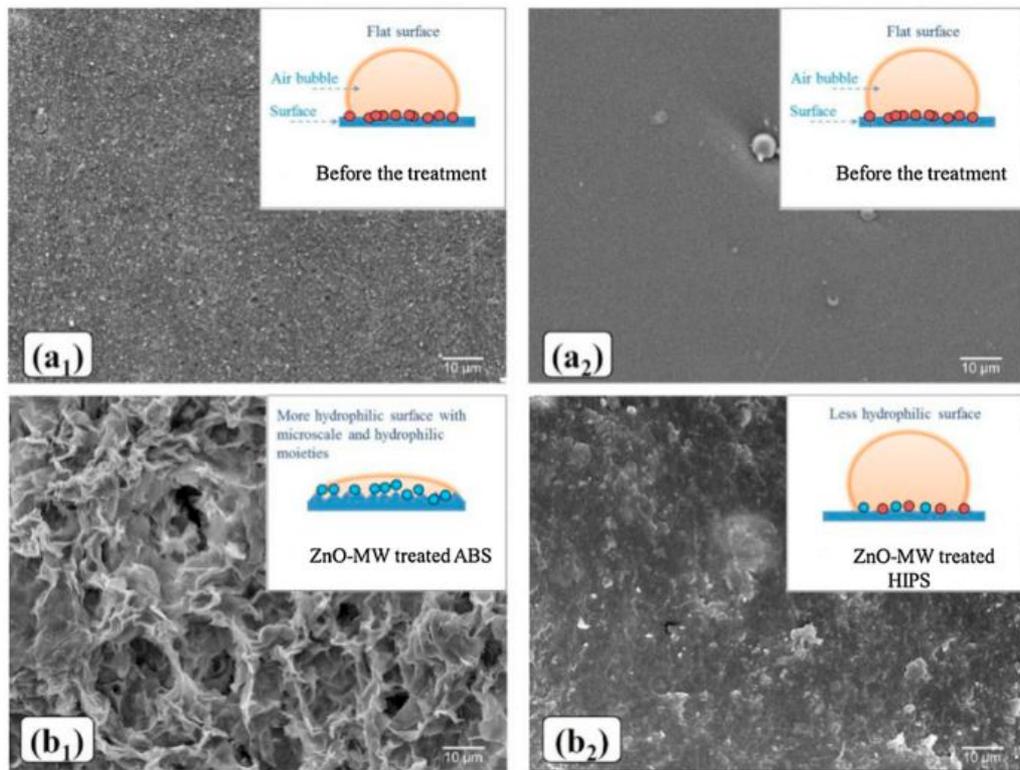
Flotation separation of acrylonitrile-butadienestyrene (ABS) and high impact polystyrene (HIPS) from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by potassium permanganate surface modification Yu Cui, Yingchun Li, Wensheng Wang, Xiaojing Wang, Jing Lin, Xianmin Mai, Gang Song, Nithesh Naik, Zhanhu Guo

# Separación por flotación

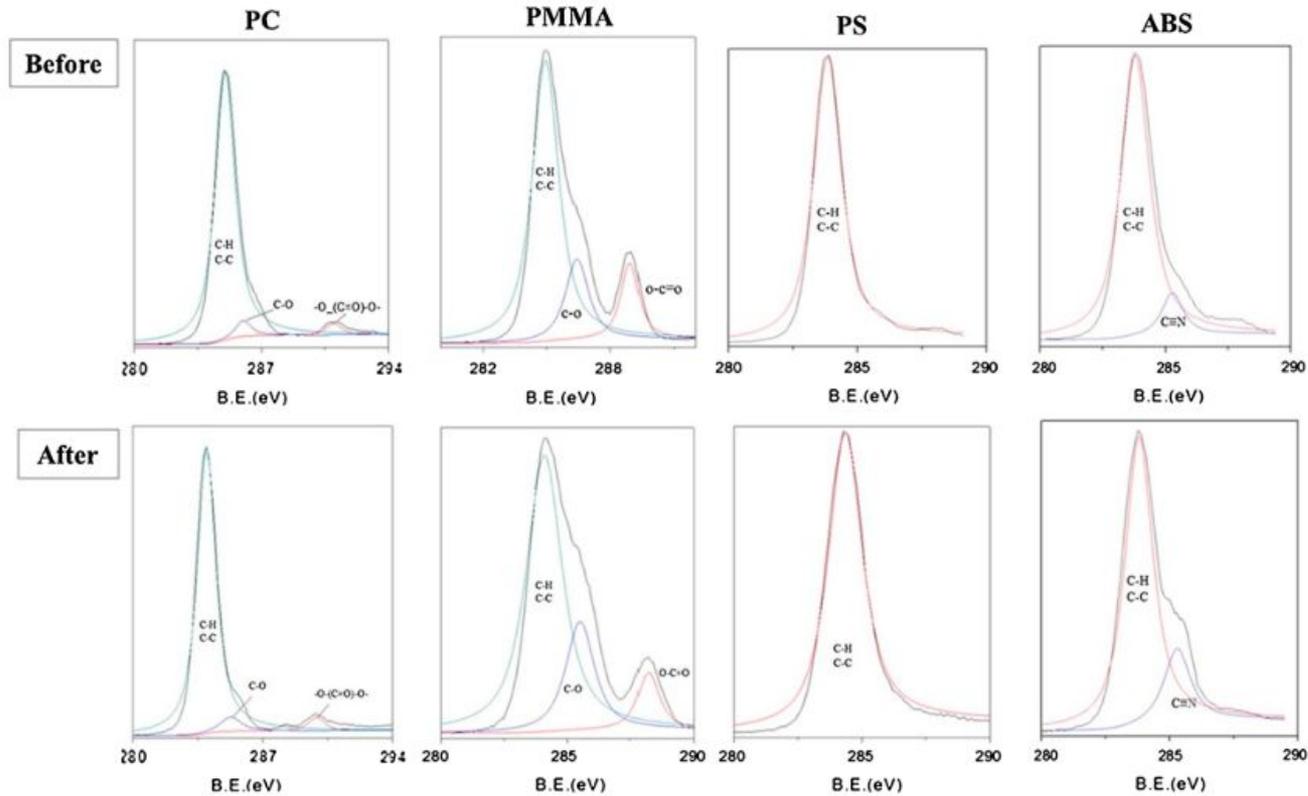


Flotation separation of acrylonitrile-butadienestyrene (ABS) and high impact polystyrene (HIPS) from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by potassium permanganate surface modification Yu Cui, Yingchun Li, Wensheng Wang, Xiaojing Wang, Jing Lin, Xianmin Mai, Gang Song, Nithesh Naik, Zhanhu Guo

# Separación por flotación



# Separación por flotación



# Separación por flotación por modificación química

Authors	Methods	Sinking (%) <sup>a</sup>			Floating (%) <sup>a</sup>		
		Plastics	Purity	Recovery	Plastics	Purity	Recovery
N.T. Thanh Truc [153,163]	ZnO coating assisted microwave treatment	ABS	95.40	100	HIPS	100	95.20
N.T. Thanh Truc [57,152,161]	Mild heat	ABS/PC/BFRs	91.70	100	ABS/PMMA and ABS	–	–
		PVC	96.80	100	Other plastics in WEEE	–	–
	Microwave	ABS	100	85	PMMA/PVC	–	–
	Mild heat	ABS	100	97	PMMA/PC/PS	–	–
M. Nagy et al. [175]	NaOH treatment	PET	–	100	PVC	–	98.90
C. Wang [16,151,179]	Ammonia modification	PC	98.21	> 92	PS	99.53	> 92
		PC	99.72	> 95	ABS	99.23	> 95
	KMnO <sub>4</sub> assisted ultrasonic treatment	PVC	> 99	> 99	PET	> 99	> 99
S.R. Mallampati [12]	Microwave treatment	PVC	100	100	PC/ PMMA	100	100
T. Okuda [158]	Ozonation	PVC	100.00	100.00	PMMA/PC/PET	100	100
S.R. Mallampati [11,112,150]	Ozonation	Rubber/PVC	100/30	100/99.59	PP/PE	100	100
		PVC	= 94.33	100	PET	100	= 94
		PVC	= 91	= 96	Other plastics in ASR	> 99	> 93 < 96
S.R. Mallampati [56,167]	Nano-Fe/Ca/CaO assisted ozonation	PVC/ABS/HIPS containing BFRs	≈ 100	100	PET, PC, PA, PMMA, Rubber and Others	–	–
	Nano-Fe/Ca/CaO assisted ozonation	PVC/ABS/HIPS containing BFRs	97–100	≈ 100	PS, PMMA, PET, POM, PA and Rubber	–	–
J. Wang [55,107–109]	K <sub>2</sub> FeO <sub>4</sub> treatment	PC	100	99.78	PS	99.54	100
		ABS	100	99.89	PVC	99.78	100
	Ca(ClO) <sub>2</sub> treatment	PVC	> 96	100	PMMA, PS, PET	> 96	100
		PC, ABS	> 96	100	PVC	> 96	100
	Fenton pretreatment	PS, PC	100	97.20	PVC	99.26	100

# Separación por flotación por regulación física

Authors	Methods	Sinking (%) <sup>a</sup>			Floating (%) <sup>a</sup>		
		Plastics	Purity	Recovery	Plastics	Purity	Recovery
C. Wang [105]	Boiling	ABS	95.16	87.33	PS	89.22	95.34
R. D. Pascoe [133]	Flame and oven thermo treatment	PET	95.10	54.50	PVC	86.40	90.50
N. Fraunholz [145]	MDS	PE	98.10	72.40	PP	–	–
Pongstabodee [142]	Sink-float combined selective flotation	HDPE,	–	100	PP	–	100
		ABS	–	96.30	PS	–	99.00
		PET	–	90.60	PVC	–	98.70
E. J. Beckman [132]	CO <sub>2</sub>	Separating LDPE, HDPE, PP, PS, EPS, paper					
	SF <sub>6</sub>	Separating PVC, PET, EPS, Aluminum					
	31.06% CO <sub>2</sub> + 68.94% SF <sub>6</sub>	Separating PS, EPS, PVC, PET					
Anjum Qureshi [134]	Plasma treatment	Moistening PC					
Alenka Vesel [135]		Moistening PMMA					
Yu Akishev [136]		Moistening PP/PET					
Xiaoxian Zhang [137]		Moistening PVC					



# Separación por flotación por depresión del medio

Surface modification  
and selective flotation  
of waste plastics for  
effective  
recycling—a review  
Hui Wang,  
Yingshuang Zhanga,  
Chongqing Wang

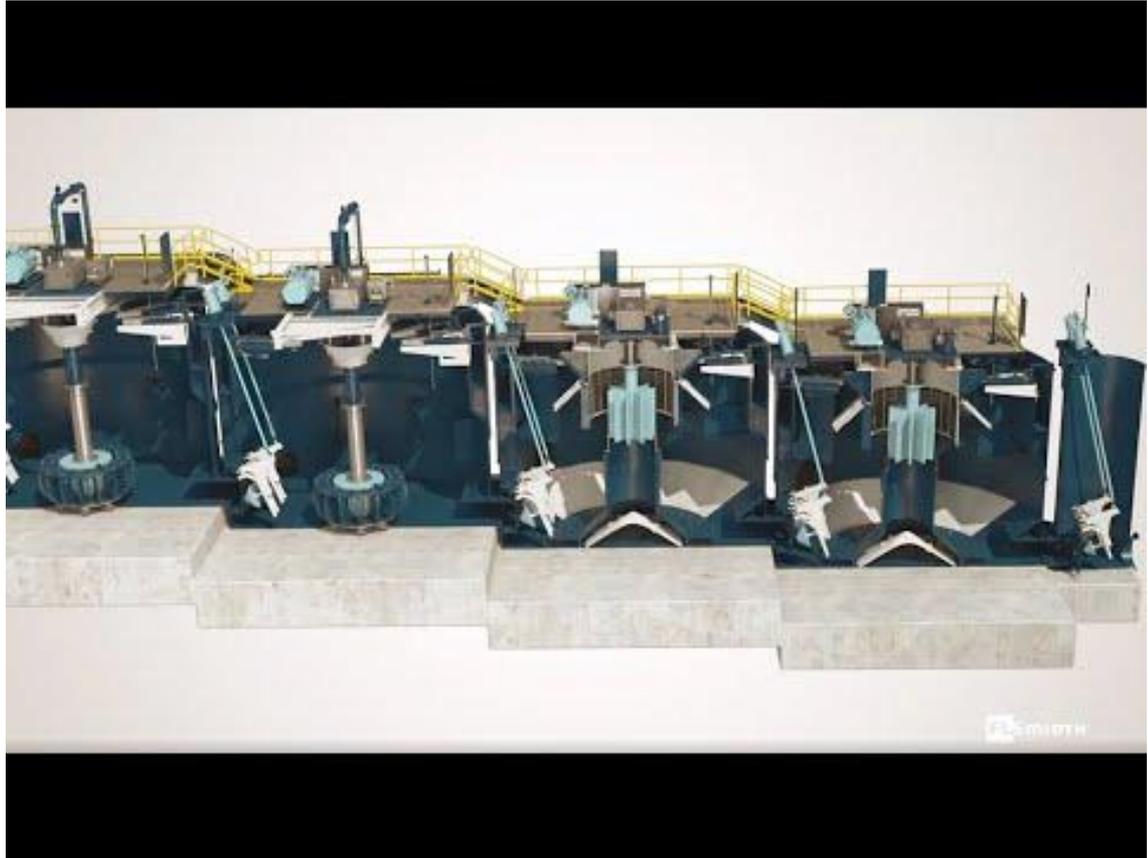
Authors	Depressant	Sinking (%) <sup>a</sup>			Floating (%) <sup>a</sup>		
		Plastics	Purity	Recovery	Plastics	Purity	Recovery
T. Thongchai [116]	CaLS	POM	–	100	PVC/PET	–	99.20
	CaLS	PET	–	> 98	PVC	–	> 98
P. Basařová [117]	CaLS	PC/PS	–	≈ 99	POM	–	100
	TA	PC	–	≈ 99	–	–	–
	Terpineol	All plastics floated	–	–	–	–	–
	PDGE	PC	–	≈ 50	–	–	–
F. Burat [118]	DIB	PVC	≈ 57	≈ 96	PET	≈ 96	≈ 30
	ELO	PVC	69.90	99.70	PET	99.70	57.00
	NaCMC	ABS	≈ 100	≈ 100	HIPS	≈ 100	≈ 100
R. D. Pascoe [124]	Quebracho	ABS	≈ 100	≈ 87	HIPS	≈ 88	≈ 100
	SDS	PC/PVC/PET	–	≈ 20	PS	–	100
J. Guo et al. [119]	SCMC	PC/PVC/PET	–	≈ 20	PS	–	100
	NP-7	PC/PVC/PET	–	≈ 20	PS	–	100
	DOP	PET	–	≈ 93	PC/PVC	–	≈ 85/70
	DBS	PET	–	96.44	PC/PVC	–	97.45/92.91
	DIB	PET	–	100	HDPE	100	99.60
	TX-100	PET	–	–	HDPE	≈ 90	≈ 60
	LA	PVC	–	–	PET	97.00	99.00
M. O. Kangal [120]	DIB	PVC	–	–	PET	90.00	95.00
	DIB	PVC	100	84.30	PET	86.43	100
M. O. Kangal, F. Burat et al. [121]	DIB	PVC	86.35	92.50	PET	92.50	84.20
A. E. Yuçe, F. Burat et al. [122]	DIB	PVC	99.40	90.10	PET	95.60	92.30
	TX-100	PVC	86.35	92.50	PET	92.50	84.20
A. E. Yuçe [123]	LA	PVC	99.40	90.10	PET	95.60	92.30
M.S. Negari [130]	TA	PS/PET	15.00/0	–	PVC	95.00	–
	MC	PET	100	100	PS/PVC	100	100
	PEG	PET	100	100	PS/PVC	100	100
	PVA	PS/PET	≈ 100	–	PVC	≈ 50	–
	MIBC	All plastics floated	–	–	PVC	≈ 50	–
	TA + PEG	PS/PET	≈ 100	–	PVC	≈ 85	–
	TA + PEG	PS/PET	≈ 100	–	PVC	≈ 85	–
	PVA + PEG	PS/PVC	≈ 40/40	–	PET	0	–
	TA + MC	All plastics sank	–	–	PET	0	–
	PVA + MC	PS/PET	≈ 100	–	PVC	≈ 35	–
	PEG + MC	PET	≈ 100	–	PS/PVC	≈ 65/75	–
	TA + PEG + MIBC	PET	≈ 100	–	PS	≈ 100	–
	TA + PVA + MIBC	PET	≈ 100	–	PS	≈ 20	–
	TA + MC + MIBC	PET	≈ 100	–	PS	≈ 90	–



# Sistema de separación por flotación

Video aplicado a la separación de minerales

Funciona bajo el mismo principio en polímeros.

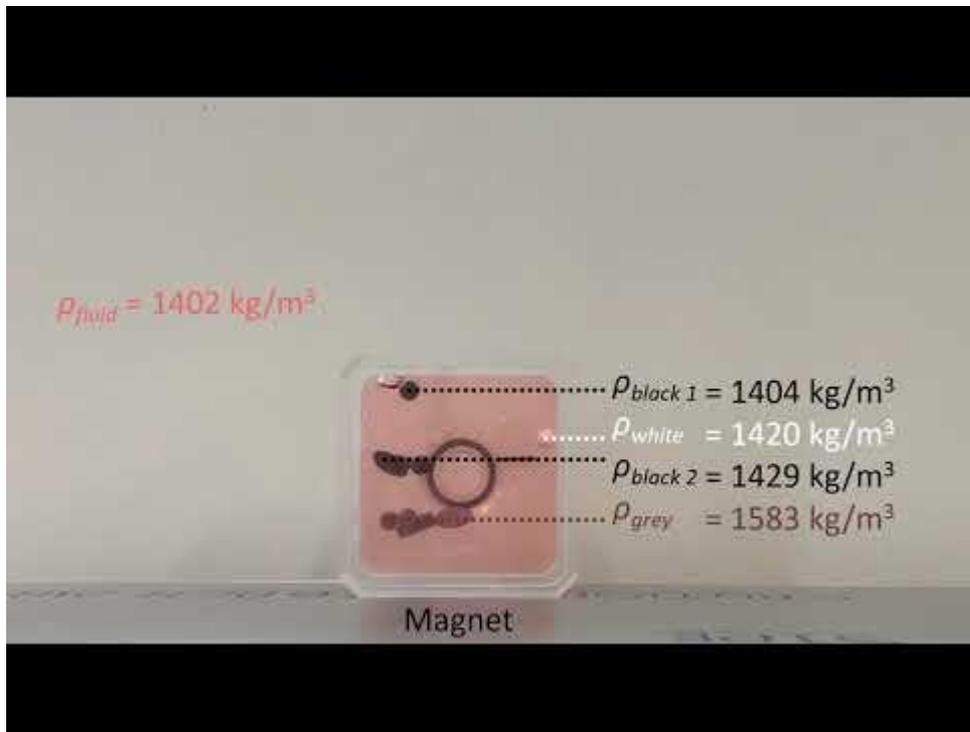




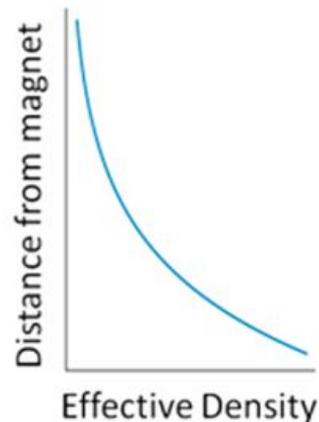
## *6. Separación por densidad magnética*



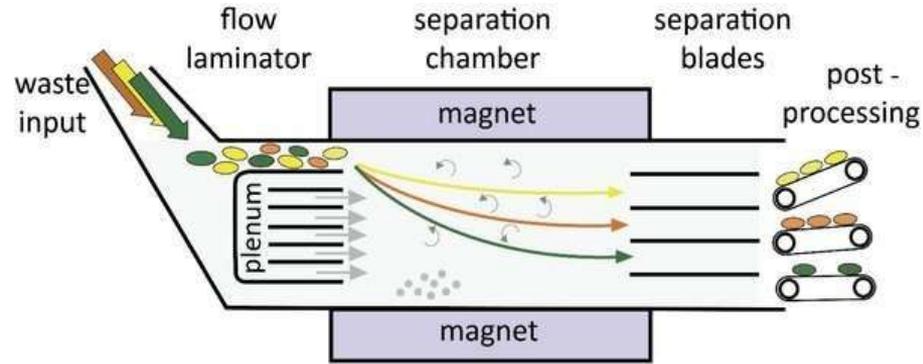
# Solución fluido magnética para la separación de plásticos



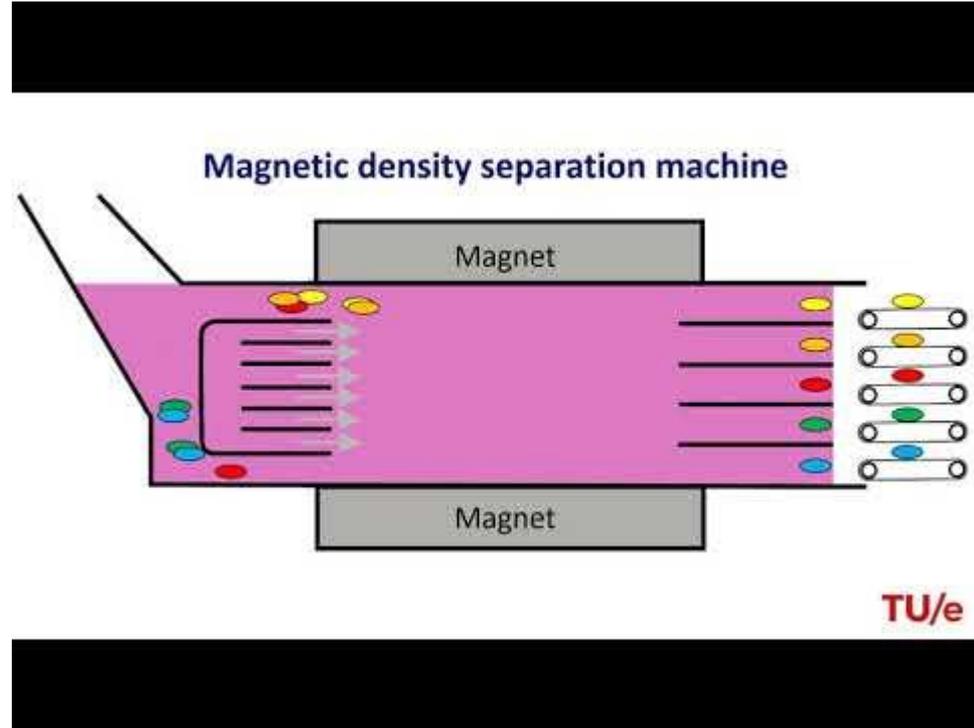
Los imanes cambian la presión hidrostática en el fluido y, la densidad aparente del fluido es cambia a diferentes alturas en el fluido.



# Solución fluido magnética para la separación de plásticos

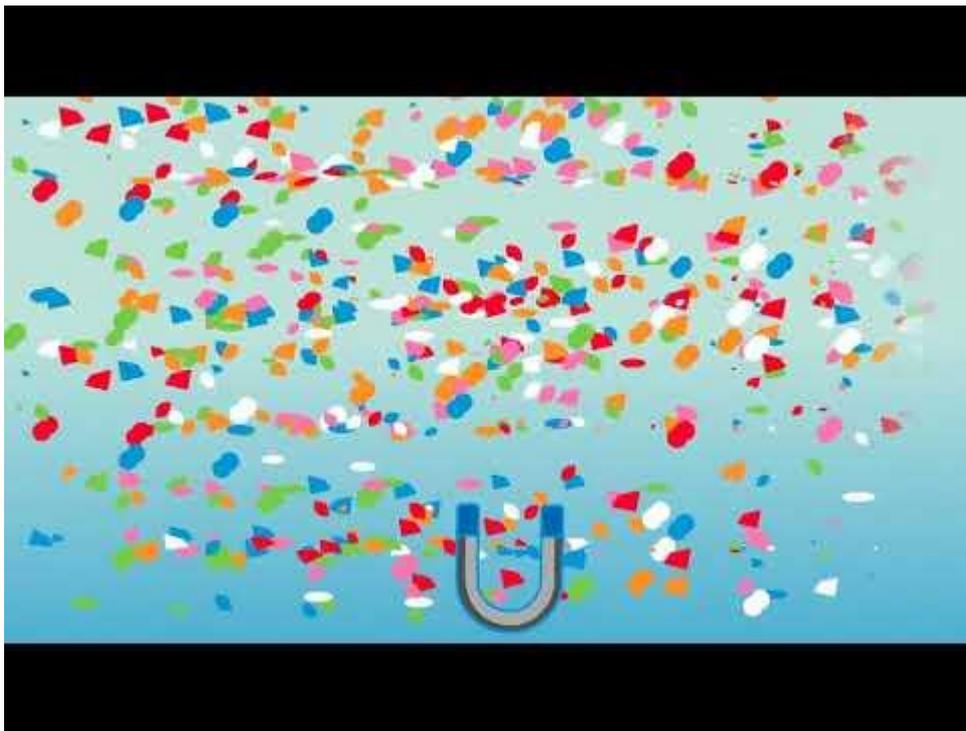


El plástico pasa a través de un tanque con una suspensión de partículas de óxido de hierro de 5 nm con un electroimán en la parte superior





# Umnicorp - Planta de separación por densidad magnética

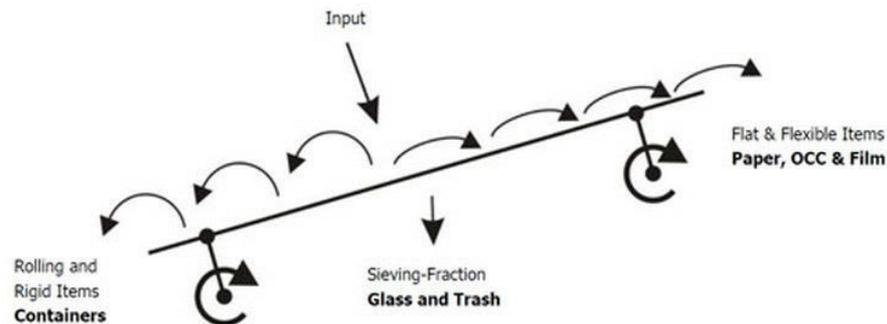


Separación con 99% de pureza



# *Otros tipos de separación*

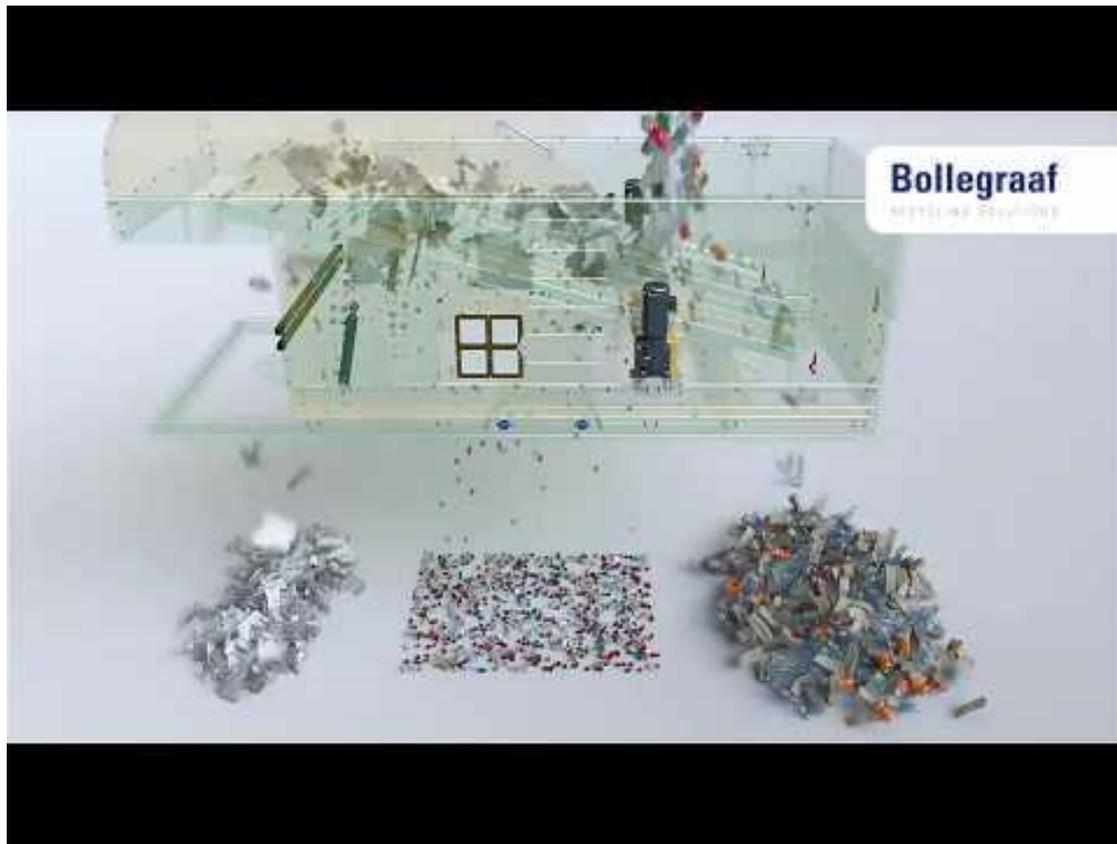
# Separación por balística



Lo más liviano viaja hacia arriba, lo más pesado hacia abajo



# Separación por balística

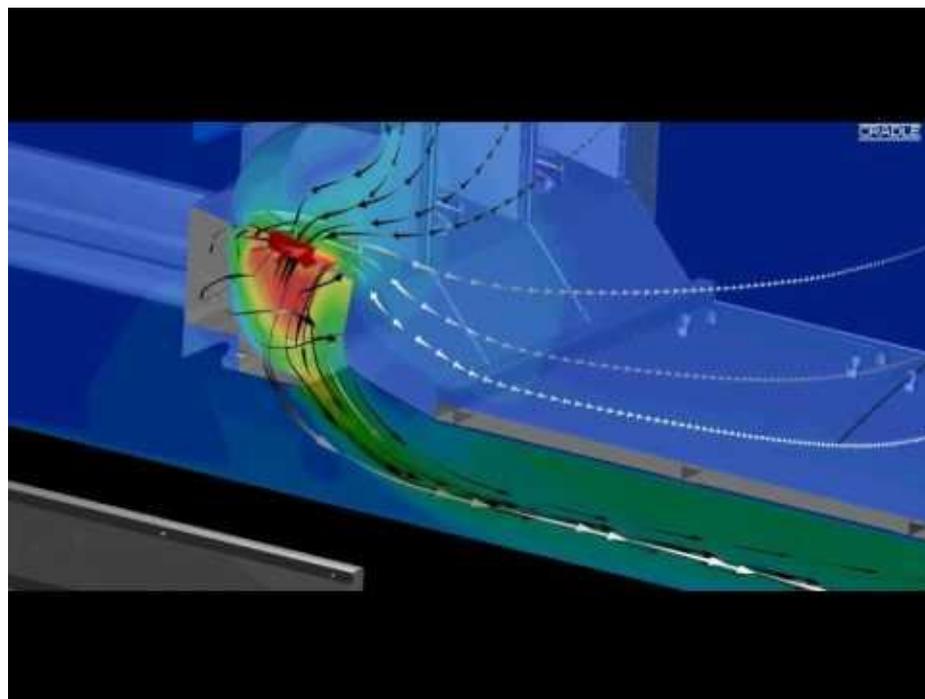


<https://www.youtube.com/watch?v=hCsmNAcHqhg>



# Separación por turbinas de aire

Lo más liviano es impulsado más lejos



<https://www.youtube.com/watch?v=kbINCiibLXU>

[https://www.youtube.com/watch?v=7\\_dF1Ewy71U](https://www.youtube.com/watch?v=7_dF1Ewy71U)



# Separador de corrientes de Eddy

Separa metales no ferrosos de materiales no ferrosos como los plásticos.

Los separadores usualmente tiene electroimanes para la separación inicial de metales ferrosos.





**CONVERTIMOS CONOCIMIENTO EN RIQUEZA**