

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**“RECICLADO DE PLÁSTICO PARA LA AGRICULTURA”**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

**PRESENTA:**

**LUIS MIGUEL REYES CASTILLO**



**SALTILLO, COAHUILA.**

**03 OCT 2008**

**AGOSTO 2008**

**RECIBIDO**

**“RECICLADO DE PLÁSTICO PARA LA AGRICULTURA”**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

**PRESENTA:**

**LUIS MIGUEL REYES CASTILLO**

**ASESOR:**



---

**MC. SANTIAGO SÁNCHEZ LÓPEZ  
ASESOR DEL CASO DE ESTUDIO**

**“RECICLADO DE PLÁSTICO PARA LA AGRICULTURA”**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

**PRESENTA:**

**LUIS MIGUEL REYES CASTILLO**

**EVALUADORES:**



---

**MC. RAFAEL AGUIRRE FLORES  
PRESIDENTE**



---

**MC. JUANITA FLORES VELASQUEZ  
VOCAL**

**SALTILLO, COAHUILA.**

**AGOSTO 2008**

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b>	1
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	5
<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	10
Definición de Plásticos	11
Diferencias entre Homopolímero y Copolímero	11
Principales Polímeros Utilizados Actualmente en la Industria	11
Polietilentreftalato (PET)	12
Polietileno (PE)	12
Policloruro de Vinilo (PVC)	12
Polipropileno (PP)	13
Poliestireno (PS)	13
Poliamida (PA)	14
Polimetilmetacrilato (PMMA)	14
Policarbonato (PC)	14
Poliéster	15
Poliuretano (PU)	15
Técnicas Agrícolas donde es Utilizado Principalmente el Plástico	16
Acolchado de Suelos	16
Cubiertas Flotantes	17
Microtúneles	17
Invernaderos	18
Riego	18
Hidroponía	19
Mallas	19
Reciclado	20
Clasificación del Reciclado Plástico	23
Reciclado Primario	23
Reciclado Mecánico	24
Reciclado Secundario	25

Reciclado Terciario	25
Reciclado Químico	26
Pirólisis	26
Hidrogenación	27
Gasificación	27
Quimiólisis	27
Metanólisis	27
Reciclado Cuaternario	27
Costos Estimados en los Procesos de Reciclado	29
Identificación de los Materiales Plásticos	29
Apariencia Física	30
Propiedades Ópticas	30
Densidad	30
Comportamiento al Calor	30
Métodos Químicos	30
Métodos de Separación de Materiales Plásticos	31
Sistemas de Molienda	33
Técnicas de Reducción de Tamaño	33
Trituración	33
Granulación	34
Pulverización	35
Procesos Densificadores	36
Problemas Típicos en el Reciclado de Materiales Plásticos	39
Aplicación Final	40
La Fuente de Resina Reciclada	40
Relación de Material Virgen/Reciclado	40
Consideraciones de Peso Molecular Promedio	40
Estructura Material y Morfología	41
Consideraciones para los Aditivos	41
Degradación	41
Mecanismos de Degradación	42
Contaminación en el Reciclado de Diversas Resinas	44
Mezclas de Materiales Plásticos	45
Reciclado de Polietilentereftalato (PET)	46
Contaminación de PVC en PET	47
Contaminación de HDPE en PET	47

Contaminación por Humedad	47
Contaminación por Polímeros Degradados	48
Procesos de Separación, Lavado y Secado del PET	49
Reprocesado del Fundido	50
Reciclado Químico del PET	50
Aplicaciones del PET reciclado	53
Reciclado del Polietileno (PE)	55
Reciclado del Polietileno de Corta Duración	56
Reciclado de Polietileno de Larga Duración	56
Reciclado de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)	57
Contaminación de PP en HDPE	59
Contaminación de PET en HDPE	59
Contaminación de Celulosa en HDPE	59
Contaminación por el Contenido de los Empaques	59
Contaminación por Geles	60
Contaminación por Polímeros Degradados	60
Reciclado del Polietileno de Baja Densidad (LDPE)	61
Contaminación por Modificación Química	61
Contaminación por Metales	61
Aplicaciones para el LDPE y HDPE reciclado	62
Mezclas de Polietilenos	63
Reciclado del PVC	63
Contaminación	65
Inestabilidad Térmica del PVC	65
Naturaleza de los Multicomponentes en las Aplicaciones del PVC	66
Reducción de Tamaño	66
Filtración del Fundido	66
Técnicas de Separación	67
Tipos de Reciclaje del PVC	67
Desechos Plásticos Agrícolas	68
Residuos Vegetales	71
Sustratos	74
Envases	76
Plásticos	78
Películas para Invernaderos y Túneles	80
Películas para Acolchado	83

Películas para Ensilado	84
Impacto Ambiental de los Residuos Agrícolas	85
Aspectos Técnicos del Reciclado de Plásticos Agrícolas	86
Energía a Partir de Residuos Plásticos Agrícolas	86
Co-Combustión en Central Térmica de Carbón Pulverizado	87
Gasificación	87
Gasificación y Pirólisis	87
Combustibles Derivados de Plásticos	87
<b>ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO</b>	<b>88</b>
Estado Actual del Reciclaje en México	89
<b>AREAS DE OPORTUNIDAD</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>95</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>96</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Manufactura, uso, reuso y reciclado de plásticos	22
Figura 2	Reciclado mecánico	24
Figura 3	Reciclado químico	26
Figura 4	Reciclado cuaternario	28
Figura 5	Separación de materiales	32
Figura 6	Triturador ISVE	34
Figura 7	Molino de cuchillas Recovery	35
Figura 8	Molino pulverizador de polietileno	36
Figura 9	Discos MWK plastcompounder Typ SV	37
Figura 10	Tamaño de gránulo o pellet	38
Figura 11	Granuladora ASP de EREMA	39
Figura 12	Ilustración del proceso de metanálisis del PET	51
Figura 13	Planta completa de reciclaje de tercera generación	52
Figura 14	Aplicaciones del PET reciclado	54
Figura 15	Panorámica de una quema de plásticos agrícolas	71
Figura 16	Residuos de cosechas, además de plásticos y envases	73
Figura 17	Restos de sustratos	75
Figura 18	Desechos de envases de agroquímicos	78
Figura 19	Contaminación ambiental por plásticos agrícolas	79
Figura 20	Doblado y empaquetado del residuo plástico de invernadero	82
Figura 21	Proceso del reciclado de películas de invernadero	83



## INTRODUCCIÓN

La plasticultura se define como un conjunto de tecnologías de punta que se concretan en la utilización de materiales plásticos en la agricultura, algunas estimaciones a nivel mundial realizadas por Jean Pierre Jounet y su equipo de París confirman que la mayor parte de plástico se usa en invernaderos, acolchado, microtúneles, etc. (Joüet, 2004).

Desde que comenzaron a utilizarse bolsas de polietileno negro para la producción forestal hasta hoy, muchos son los avances que se han producido en México en la utilización de plásticos en la agricultura. En aquel entonces, esas primeras bolsas, fueron la primera aplicación de los plásticos en la agricultura que se realizó en nuestro país, y eran simplemente consideradas como una forma de simplificar la tarea de propagación de árboles. Hoy en día, en todo el mundo, los plásticos han permitido convertir tierras aparentemente improductivas en modernas explotaciones agrícolas. (López *et al*, 2007).

Los datos actuales indican que sólo 3.8% del consumo de plástico de nuestro país se destina a la agricultura, pero el tamaño potencial que este mercado podría tener es inmenso. Principalmente porque en México la diversidad de suelos, climas y microclimas favorece el desarrollo de la agricultura protegida (Mundo Plástico, 2007)

En España, por ejemplo, las cubiertas de plástico permitieron desarrollar invernaderos de bajo costo, que consiguieron regular cada vez mejor la temperatura de los cultivos. El riego por goteo, basado en tuberías de polietileno, logró reducir drásticamente el consumo de agua, al tiempo que abrió las puertas a los cultivos hidropónicos. En los embalses, acolchados, sistemas de ensilaje, etc., la utilización del plástico se convirtió en la base de una agricultura cada vez más rentable y productiva. (Garnaud, 2000).

En la agricultura, los plásticos se utilizan en técnicas, como acolchado de suelos, invernaderos, microtúnel, macrotúnel, cubiertas flotantes, solarización, riego por goteo, recubrimiento de canales y obras de captación de agua, silos forrajeros, mallas antigranizo, anti insectos y sombra, tutores, embalaje. (Matallana y Montero, 1995)

La aplicación de plásticos en el campo es muy variada. Entre sus principales ventajas podemos mencionar: Mayores rendimientos, mayor calidad de la producción, adelantar cosechas, cosechar fuera de temporada, controlar plagas, enfermedades y malezas, así como también darle una mayor eficiencia al uso del agua y de los insumos, ahorro de mano de obra, entre otros beneficios que repercuten tanto en lo económico como en lo ambiental. (Mundo Plástico, 2007)

Las principales técnicas que se utilizan en México son el acolchado de suelos, invernaderos y riego por goteo utilizando principalmente polietileno de baja y alta densidad. Las cintas de riego por goteo y los accesorios para riego ocupan el mayor volumen de plástico, seguido por el plástico para acolchado de suelos, y después el plástico para cubierta de invernadero. (Márquez y Conde, 2007).

Así mismo se han implementado desarrollos y evaluaciones de materiales plásticos para acolchado de suelos, invernaderos, microtúneles, mallas y sistemas de riego. Estos desarrollos están basados en investigaciones en las cuales se combinan los conocimientos y experiencias agronómicas en la utilización de plásticos, para el desarrollo de técnicas de Agroplasticultura, aplicables a cultivos comerciales, para el incremento en la productividad, ahorro de agua, energía y desarrollo de otras ventajas competitivas con respecto a las técnicas de cultivo tradicionales además de disminuir el impacto climático que representan estas técnicas en la agricultura, así por ejemplo:

1. Formulaciones de cubiertas flotantes de polipropileno no tejido para disminuir la temperatura en la interfase planta- aire, seleccionando pigmentos con longitudes de onda adecuada para cada cultivar hortícola. Aplicables en la producción comercial de hortalizas para incrementar rendimientos y favorecer la precocidad.
2. Películas termocontroladoras para cubierta de invernaderos con base en aditivos perlescentes y plateados sensibles a la radiación solar para controlar la temperatura en el interior del invernadero. La aplicación de este tipo de cubiertas reduce la inversión en sistemas automatizados de control de temperatura.

Actualmente se calcula que a nivel nacional se siembran aproximadamente 15,756,144 ha de cultivos cíclicos, de las cuales 3,908,079 millones de hectáreas (24.8 %) fueron áreas de

riego y el resto de temporal. (SIAP, 2005) De esta superficie, más de 200,000 hectáreas se usan técnicas que llevan como insumo materiales plásticos, y entre estas técnicas se mencionan invernaderos, acolchados, riego por goteo, microtúnel, macrotúnel, malla sombra, mallas antigranizo, bolsas para cultivos hidropónicos y rafia. Considerando lo anterior el nivel de desechos plásticos que se generan en la agricultura, solamente en las técnicas antes mencionadas son muy altos y actualmente no se sabe que se hace con ellos, lo cual puede representar en un futuro cercano un problema ambiental de importante consideración.

Si se toma el caso de acolchado plástico y considerando que existen en México aproximadamente 160,000 ha y considerando que se utilizan 200 kg de plástico por ha/ciclo/año entonces se tendría un desecho anual de 32,000 toneladas.

Para túneles altos se calcula que se utiliza un promedio de  $2,256 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de plástico con una vida útil de 2.5 años, lo que nos da por año un desecho de  $902 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Para las casas sombra se necesitan alrededor de  $20,000 \text{ m}^2$  de malla por ha ( $1 \text{ m}^2$  de malla sombra de 30% pesa de 57 g) lo que representa un volumen por ha de 11.4 ton y considerando un período de vida de la malla de 10 años, el desecho anual por ha sería de 1.14 toneladas, En cuanto al uso de bolsas para cultivo sin suelo, se considera que la bolsa tiene un peso de 83 g por taco o bolis que serían 290 kg/ha.

En invernaderos, si se considera que solamente se usa la película de la cubierta se requiere por hectárea alrededor de 3,000 a 4,000 kg dependiendo del tipo de invernadero y su altura, con una duración de 2 a 3 años sería por año un desecho por ha de 1,500 kg anuales. Sin embargo asociado al invernadero se usa cinta de riego por goteo entre 60 y 90  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , la rafia para el tutoreo entre 200 y 300  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y en algunos casos también acolchado de suelo 200  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  lo que aumenta el desecho por ha de invernadero.

Lo anterior da una idea del nivel de desechos plásticos que solo de la agricultura se tienen y que actualmente a la mayoría no se les está dando ningún tratamiento, reciclado o uso para co-generación de energía y que para deshacerse de ellos se queman o confinan en el suelo. No se puede olvidar que es compromiso de todos cuidar el medio ambiente y generar las tecnologías y mecanismos mas adecuados para evitar los problemas de acumulación de residuos plásticos y que el uso de la agroplasticultura sea un beneficio para todo el país y no

represente un problema ambiental que evite o frene su desarrollo, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer lo que es la técnica del reciclado de plásticos en general y presentar un panorama de la utilización de los plásticos agrícolas y el problema ambiental que pueden causar en un futuro muy cercano si no se considera su reciclado

## **REVISION DE LITERATURA**

### **Definición de Plásticos**

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen natural como por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule natural) o sintético como el polietileno y el nylon y es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión por medio de extrusión, moldeo o hilado. (Peláez, sin fecha)

Los plásticos forman parte de la gran familia de los polímeros (poli = muchas y meros = partes), que se producen por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros que forman cadenas de diversas formas de las cuales se derivan también otros productos como los adhesivos, recubrimientos y pinturas. Los materiales empleados en la fabricación de plásticos son resinas en forma de pellet, polvo o en disolución. Con estos materiales se fabrican los plásticos terminados, que se utilizan tanto en la industria (automotriz, farmacéutica, de la construcción, etc.) como en la agricultura. (IMPI, 2000).

En la actualidad muchos de los objetos con los que tenemos contacto están hechos total o parcialmente de algún tipo de plástico, debido a la variedad de propiedades casi ilimitada que se puede dar a estos materiales, aunada a su relativo bajo costo, los podemos encontrar duros, blandos, rígidos, flexibles, densos, ligeros, impermeables, absorbentes, etc. Aunque generalmente se utilizan como sinónimos los términos “plástico” y “polímero”, el plástico hace referencia a cualquier material que puede moldearse fácilmente, mientras que polímero clasifica a una sustancia por su estructura molecular (Sosa, 2003)

## **Diferencias entre un Homopolímero y Copolímero**

Homopolímero significa que la cadena molecular del polímero está constituida por numerosas unidades de la misma molécula. Un copolímero en cambio está constituido por más de una unidad de la misma molécula, pero con moléculas diversas insertadas por casualidad, en diversos puntos a lo largo de la cadena. Esta diversidad permite obtener una mayor compactación en las cadenas homopoliméricas, de lo que resulta un material con un punto de fusión más elevado, mayor resistencia, una rigidez más elevada y mayor dureza de superficie respecto a los copolímeros. Estas características de los homopolímero con respecto a los copolímeros, se encuentran en las resinas poliolefnica, poliamídica y acetálicas (Peláez, sin fecha).

## **Principales Polímeros Utilizados Actualmente en la Industria.**

En 1907 se introducen los polímeros sintéticos con la baquelita, comercializándose en 1909. Este material presenta gran resistencia mecánica aislamiento eléctrico y resistencia a elevadas temperaturas. A partir de los años 20 se empezó a desarrollar el polietileno, el nylon y el poliestireno y en los 50 el polipropileno, el cloruro de polivinilo. Posteriormente, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases. Las investigaciones de 1990 al 2000 se orientan a la combinación entre polímeros para formar mezclas poliméricas y aleaciones plásticas cuando se adicionan agentes de acoplamiento o compatibilizadores como los silanos, titanatos y hules termoplásticos, siendo la innovación la que mueve el desarrollo tecnológico de esta industria. (<http://www.aniq.org.mx/cipres/historia.asp>)

Según la clasificación de la Sociedad de Industrias del Plástico, el PET es el más importante hablando comercialmente, seguido del polietileno de alta densidad, el cloruro de

polivinilo, polietileno de baja densidad el polipropileno y el poliestireno ([http://www.epr-italia.com/documents/File\\_pdf/Plastico.pdf](http://www.epr-italia.com/documents/File_pdf/Plastico.pdf)).

### **Polietilentereftalato (PET)**

Se emplea en la fabricación de envases para alimentos o bebidas. En su síntesis se emplean sustancias tóxicas y metales pesados como catalizadores, sin embargo el PET no daña la salud ni al ambiente por lo que puede reciclarse, además su incineración genera dióxido de carbono y vapor de agua ([http://www.epr-italia.com/documents/File\\_pdf/Plastico.pdf](http://www.epr-italia.com/documents/File_pdf/Plastico.pdf)).

### **Polietileno (PE)**

Se desarrolló industrialmente en los años cincuenta en Inglaterra. Es una de las materias plásticas más difundida y que más se ve en la vida diaria, siendo el plástico más popular del mundo por ser un material tan versátil, tiene una estructura muy simple, la más simple de todos los polímeros comerciales. Existen varios procedimientos para la obtención del polietileno que varían sobre todo en relación a la presión (PE de media, alta y baja densidad). También se pueden distinguir el polietileno lineal de baja densidad y el polietileno de peso molecular ultra-alto (Ultra High Molecular Weight PolyEthylene UHMWPE) <http://www.psrc.usm.edu/spanish/pe.htm>. Las características del polietileno se pueden resumir así: bajo costo, facilidad de elaboración, tenacidad y flexibilidad aún a bajas temperaturas, no tiene olor, y no es tóxico, transparencia. Además el polietileno es un óptimo aislante eléctrico. Los empleos son varios: desde los domésticos, bolsas para almacén, juguetes, revestimiento de cables, botellas, películas de embalaje así también para películas de uso agrícola, e incluso chalecos a prueba de balas. (<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDePlasticos>)

### **Policloruro de Vinilo (PVC)**

El cloruro de polivinil es la materia plástica más utilizada, junto con el polietileno, el poliestireno y el polipropileno. Aún si las patentes sobre la producción del cloruro de polivinil son anteriores, el nacimiento de una verdadera industria del PVC se ha verificado pocos años antes del estallar de la segunda guerra mundial, de modo paralelo en Estados Unidos y Alemania. El PVC puede ser elaborado con casi todas las tecnologías utilizadas para los

materiales plásticos y es imposible describir todas sus aplicaciones que incluyen: manufacturados rígidos, elásticos y esponjosos. Con el cloruro de polivinil se realizan aislantes para cables, enchufes, tomas de corriente, cajas de derivación, válvulas, bombas, persianas, tuberías para alcantarillado, tapices, revestimientos para interiores de automóviles, calzado, impermeables, juguetes, películas para utilidades agrícolas. (<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDePlasticos>) Este material es el único plástico que contiene cloro, contaminante ambiental durante su ciclo útil y su disposición final ([http://www.epr-italia.com/documents/File\\_pdf/Plastico.pdf](http://www.epr-italia.com/documents/File_pdf/Plastico.pdf))

### **Polipropileno (PP)**

Es la más nueva de las materias plásticas y ha alcanzado en pocos años un desarrollo productivo y una variedad de aplicaciones sin precedentes. Fue obtenida por primera vez en 1954 por Giulio Natta, en colaboración con los investigadores de la Montecatini, sociedad que fue la primera a desarrollar la producción de este elemento industrialmente. Similar al polietileno de alta densidad tiene una densidad menor y posee una mayor dureza. Es el más rígido entre los polímeros polifónicos y mantiene esta característica hasta los 100 °C. Posee una apreciable resistencia a la abrasión y al calor, excelentes características dieléctricas de aislamiento, una especial resistencia a las flexiones reiteradas (10 millones de flexiones). Existen varios tipos de polipropileno de manera comercial. Los sectores en los que se emplean son diferentes: desde los artículos sanitarios, electrodomésticos, juguetes, a si como también componentes para la industria automovilística, artículos deportivos, embalajes alimenticios, algunos tipos de señalamientos viales, así también como componentes para la industria química y en el sector agrícola. (<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDePlasticos>)

### **Poliestireno (PS)**

Su síntesis se realiza con compuestos químicos cancerígenos: benceno, estireno y 1,3 butadieno, su incineración libera estireno y otros hidrocarburos tóxicos, técnicamente se recicla pero el porcentaje de recuperación es bajo ([http://www.epr-italia.com/documents/File\\_pdf/Plastico.pdf](http://www.epr-italia.com/documents/File_pdf/Plastico.pdf)) El poliestireno se difundió a partir de los años treinta y ha tenido un enorme éxito, por cuanto es posible darle un proceso mediante inyección, extrusión y soplado. Es imposible describir todas sus aplicaciones que tiene en los



distintos sectores. El sector principal es el del embalaje. Sucesivamente se ha empleado en la industria de los juguetes, construcción civil, electrodomésticos, interruptores eléctricos. (IMPI, 2000)

### **Poliamida (PA)**

Las poliamidas fueron desarrolladas en 1935, en los Estados Unidos, ninguno de los productos sintéticos probablemente ha conquistado tan rápidamente la popularidad de las resinas poliamídicas, que se conocen con el nombre comercial de la primera poliamida puesta en el mercado la cual fue el Nylon. Las poliamidas se trabajan con casi todas las técnicas en uso para los materiales termoplásticos y es imposible listar todas las aplicaciones en las cuales se emplean por citar algunas por ejemplo: en la industria automovilística, electrónica, electrotécnica, radio y televisión, engranajes de precisión, películas para embalaje de alimentos, instrumentos quirúrgicos, prótesis y vestuario. (Capella, 1996)

### **Polimetilmetacrilato (PMMA)**

Es el más importante de los polímeros derivados del ácido acrílico, producido en los años Treinta, pero se empezó a producir en escala industrial durante la segunda guerra mundial. Con el Polimetilmetacrilato Moholy-Nagy y Pevsner produjeron las primeras esculturas de materia plástica. Este polímero tiene distintas propiedades tales como rigidez, transparencia, así también posee una excepcional capacidad de transmisión de la luz, superior a la de los mismos vidrios inorgánicos. Estas características ópticas se contribuye en base a sus aplicaciones que son en muchas ramas: desde la construcción civil, en señalamientos, industria automovilística, aeronáutica, electrodomésticos, y en aparatos para laboratorio. (<http://pslc.ws/spanish/pmma.htm>)

### **Policarbonato (PC)**

En 1957 se produjeron los primeros policarbonatos. Los policarbonatos mantienen sus características inalteradas entre los 100 y 140 °C. Poseen una dureza superficial apreciable, óptimas propiedades aislantes y de resistencia a los agentes atmosféricos. Entre sus mayores calidades se pueden nombrar las características estéticas y de transparencia. Se utilizan en la fabricación de partes para la industria mecánica y electrotécnica: protección para

automovilistas, para piezas astronáuticas, vidrios para ventanas, puertas de seguridad para los bancos, esferas para alumbrado, escudos de protección para las fuerzas de policíacas. (<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDePlasticos>)

### **Poliéster**

Las resinas de poliéster constituyen una familia bastante diferenciada y compleja de resinas sintéticas que se obtienen con una grande variedad de materias primas. Las resinas poliéster insaturadas son líquidos más o menos viscosos de color amarillo pajizo que endurecen con el añadido de catalizadores. Su robusteza, flexibilidad y rigidez pueden ser modificadas con el añadido de aditivos, refuerzos que normalmente pueden ser fibra de vidrio o de carbono. Se emplean en la construcción civil, para compuertas, puertas y ventanas, encofrado, vidrios, paneles decorativos; en la náutica más del noventa por ciento de los barcos está construido con resinas poliéster reforzado y hoy en día se fabrican también unidades de guerra como por ejemplo los dragaminas y botes para el servicio guardacostas. En la industria de los transportes se fabrican con las resinas de poliéster reforzado partes de autobuses, máquinas agrícolas, vagones de ferrocarril. Hay numerosos otros empleos que van desde los aislantes eléctricos. Hasta piezas artísticas en las cuales se emplean las resinas de poliéster. (<http://pslc.ws/spanish/pet.htm>)

### **Poliuretano (PU)**

Son polímeros obtenidos mediante la poliadición de los isocianato y de los poliols. Han aparecido de manera comercial alrededor de 1941. Se presentan con la forma de material rígido o bien flexible lo cual les permite una cantidad enorme de aplicaciones. Se utilizan en forma flexible para fabricar cojines, colchones, muebles, revestimientos de tejidos y en forma rígida para empleos en la industria automotriz, construcción civil. Pueden sustituir el cuero y la madera en la fabricación de revestimientos. Son un aislante térmico y acústico de óptima calidad. (<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDePlasticos>)

## **Técnicas Agrícolas donde es Utilizado Principalmente el Plástico.**

El primer uso de los plásticos en la agricultura fue en forestal sustituyendo a los botes de aceite por bolsitas negras de polietileno para simplificar el trabajo ya que eran más fáciles de transportar. Esto provocó inquietud tanto en algunas compañías de plástico como en investigadores que buscaron nuevos desarrollos y dieron a conocer nuevas aplicaciones de los plásticos en la agricultura, las cuales son muy variadas y su importancia radica en que mediante el uso de estas técnicas se obtienen mayores rendimientos, producción de mayor calidad, precocidad en las cosechas y cosechas fuera de temporada, mayor eficiencia en el uso del agua, control de malezas y de algunas plagas y enfermedades, ahorro de mano de obra, mayor seguridad en las producciones, etc., lo cual repercute en mayores beneficios económicos tanto para los productores como para los comercializadores (Mungía, *et al.*, 2003)

El plástico más utilizado en la agricultura es el polietileno debido principalmente a su bajo costo en comparación con los otros materiales, puede ser polietileno normal (sin aditivos), de larga duración, térmico, copolímero EVA y se utiliza tanto en la fabricación de películas para acolchado, cubierta de túneles e invernaderos, mallas plásticas, cubiertas flotantes, cintillas y tubería para riego, etc. Otros plásticos para fabricación de películas con uso agrícola son el PVC y PP que también se utiliza para la fabricación de rafia, el PS principalmente se usa en la manufactura de charolas de germinación y contenedores para hidroponía. (<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=15649>). Entre los plásticos rígidos para cubierta de invernadero se encuentran el PMMA, PC, Poliéster con fibra de vidrio y PVC ([http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/plasticos4.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos4.htm))

### **Acolchado de Suelos**

Esta técnica consiste en cubrir con plástico la cama o surco donde se siembra y se utiliza para ahorrar agua, obtener cosechas más precoces y mayores, de mejor aspecto comercial y estado sanitario. El acolchado conserva la humedad, mantiene una buena estructura, mejora la utilización de los abonos, brinda protección en la nacencia de las plantas,

disminuye el número de frutos dañados y elimina malas hierbas cuando se utilizan plásticos opacos.

Las propiedades recomendadas para comprar un plástico deben ser aquellas que posibiliten cumplir los efectos que se desean dar a la planta. Si se quiere que ésta crezca más rápido se tiene que buscar uno que transmita más calor. Si se quiere además evitar que lleguen muchos insectos, debe seleccionarse uno que refleje la luz. ([http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id\\_sec=45&id\\_art=2109&id\\_ejemplar=79](http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=2109&id_ejemplar=79))

En México, los estados que más utilizan esta técnica son: Baja California, Sonora, Sinaloa, Jalisco, Colima y Coahuila, siendo el polietileno lineal de baja densidad el plástico más utilizado para la producción de tomates, chiles, pepino, melón y sandía principalmente. Se calcula una superficie aproximada con acolchado de 160,000 hectáreas, siendo las principales empresas en México que producen película para acolchado: Industrias de Culiacán, Agrícola de Servicios, Exportadora de Plásticos Agrícolas, Perfiles Plásticos, Olefinas y Agrotileno, entre otras (Munguía *et al.*, 2003).

### **Cubiertas Flotantes**

Las cubiertas flotantes son láminas de plásticos (polietileno, polipropileno, poliéster) que se colocan sobre el cultivo después de la siembra o la plantación y se van elevando con su crecimiento. Las cubiertas flotantes o mantas térmicas crean un microclima favorable para las plantas en una época y zona determinada del crecimiento y con ello, se favorece una calidad más homogénea, mayores calibres y cierta precocidad (1 a 2 semanas). También disminuye la necesidad de tratamientos fitosanitarios. La superficie aproximada en nuestro país con esta técnica es de 3,000 ha y se utilizan principalmente para proteger a los cultivos de los insectos transmisores de virosis. La cubierta flotante es un método de protección de cultivo de bajo costo y fácil utilización.

### **Microtúneles**

Son construcciones semicirculares o triangulares con cubiertas de plástico, más sencillas y menos costosas que los invernaderos. La principal ventaja es que protegen al cultivo de condiciones climatológicas adversas, la duración de la protección es para una única

campaña, ya que se retiran cuando las condiciones sean aptas para el cultivo o el tamaño del mismo sobrepase la altura del microtúnel. Las películas plásticas empleadas pueden ser de PE, PP, PVC, EVA.

En México, los microtúneles se desarrollaron en forma creciente, sobre todo en el noroeste del país, actualmente se utilizan es cultivos específicos como fresa y nopal, ubicándose particularmente en los estados de Baja California, Puebla, Morelos, Distrito Federal, México, Guanajuato, Oaxaca y Jalisco con más de 5,000 hectáreas en total.(Flores, 2008)

### **Invernaderos**

Son construcciones que sirven para optimizar el control de las condiciones climáticas y de cultivo. Es un habitáculo de paredes y cubiertas plásticas que filtran la radiación solar que entra y sale de él, y lo aíslan del exterior. La película plástica de cubierta permite el paso de la radiación emitida por el sol, que es responsable del calentamiento del invernadero e impide la salida de la radiación emitida por el suelo, que es la responsable del enfriamiento. Además de proteger a las plantas de condiciones meteorológicas adversas y permitir a los agricultores obtener más y mejores cosechas, lo primordial es que permite el cultivo en épocas y en zonas en la que años atrás parecía imposible.

En México se calcula que existen aproximadamente 2,500 hectáreas con invernaderos para la producción de plántula, flores y hortalizas, siendo los estados de Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Jalisco y el estado de México los que cuentan con mayor superficie cubierta (Munguía *et al.*, 2003).

### **Riego**

La modernización de los sistemas de riego implica el empleo masivo de materiales plásticos. Los materiales plásticos en general, y más concretamente las tuberías de polietileno, se utilizan tanto en las canalizaciones primarias para el transporte como en las redes secundarias de distribución y en los ramales del riego localizado para conducir el agua de cultivo. Estos tubos deben estar elaborados con materiales específicos, resistentes al cuarteamiento propiciado por las tensiones que genera el propio sistema, que incorpora

goteros, microaspersores u otros elementos acoplados a las conducciones. Cada producto presenta las condiciones y características precisas para cubrir las necesidades requeridas. (Repsol, 2007). En México, el programa de Alianza para el Campo han apoyado a los productores de hortalizas instalando en el periodo del 2000-2003 más de 15,000 equipos de riego en una superficie de más de 500,000 hectáreas (Munguía, *et al.*, 2003)

### **Hidroponía**

El cultivo “sin suelo” es una tecnología aplicada a los cultivos hortícolas, fue desarrollado por la necesidad de mejorar el control nutricional de las plantas y de prescindir de suelos muy contaminados. Durante la década de los 80 se basaron en la utilización de materiales plásticos, fundamentalmente fabricados con lámina coextruída de polietileno.

### **Mallas**

La aplicación de las mallas en la agricultura tiene dos vertientes bien definidas que son las aplicaciones de producción, y las de postproducción o envasado. Los materiales con los que se fabrican mallas y tutores son fundamentalmente, polietileno de alta densidad y polipropileno; estas pueden ser tejidas o extruidas. En España o Italia, por ejemplo, se emplea más la malla tejida que la extruida; sin embargo en Estados Unidos la tendencia es a la inversa. También hay una cierta cantidad de malla destinada al envasado, (Relf y McDaniel, 2004).

Además de las aplicaciones mencionadas el uso de los plásticos también se ha introducido en las explotaciones agropecuarias, sistemas de ensilado y cubierta de las naves y cercado de ganado en el embalaje.

Los beneficios económicos que los materiales plásticos aportan a la agricultura son evidentes, sin embargo, una vez cumplida su misión o vida útil muchos miles de kilómetros cuadrados de plástico sucio deben ser removidos y desechados. Este es un proceso muy costoso que genera grandes cantidades de desperdicio contaminante. Gran parte de los materiales plásticos procedentes de la agricultura se recicla, sin embargo, existen casos en los que por el contenido de impurezas y tierra, es aconsejable utilizar la recuperación energética, aprovechando así su alto poder calorífico. Aunque los residuos plásticos de la agricultura

mexicana pueden reciclarse, esto aún no sucede, los agricultores se encargan de recogerlo y confinarlo para echarlo a la basura, otros lo que hacen es enterrarlo o quemarlo sin aprovechar el poder calorífico en la recuperación energética (<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=19215>).

Conjuntamente, los desechos plásticos que genera la agroplasticultura y los plásticos utilizados habitualmente en la industria e incluso en la vida cotidiana son productos con una muy limitada capacidad de autodestrucción, y en consecuencia quedan durante muchos años como residuos, con la contaminación que ello produce, por lo que cada día es más claro que es necesaria la recuperación de los restos plásticos por dos razones principales: La contaminación que provocan y el valor económico que representan (<http://www.emison.com/5194.htm>). Tomando en cuenta lo anterior, el reciclaje de plásticos es una alternativa útil para reducir los residuos sólidos urbanos ([http://www.epr-italia.com/documents/File\\_pdf/Plastico.pdf](http://www.epr-italia.com/documents/File_pdf/Plastico.pdf))

## **Reciclado**

El reciclaje es la transformación de productos que ya han sido utilizados para que se vuelvan a utilizar como materia prima de otros productos diferentes. Al reciclar se utiliza menor cantidad de recursos no renovables como lo son los plásticos vírgenes o nuevos, lo que a su vez conduce a lograr beneficios económicos, sociales y ambientales. De esta manera se reprocessan los materiales para acondicionarlos con el propósito de integrarlos nuevamente a un ciclo productivo como materia prima ([www.aprepet.org.mx](http://www.aprepet.org.mx))

Involucra todas las técnicas necesarias para obtener nuevos productos o energía partiendo de desechos que han perdido sus propiedades originales en su ciclo de vida. Es generalmente el paso más costoso y por ello se debe proyectar minuciosamente.

La incineración es una técnica de recuperación, y es la única adecuada para el caso de desechos sanitarios, y cuando se desarrolla correctamente, permite recuperar energía de los mismos. Otras técnicas de recuperación para plásticos, son los procesos químicos, como la hidrólisis o la pirolisis, que permiten regresar a las materias primas a base de la producción de

plásticos. Por ejemplo, existen plantas piloto que generan polioles y dimetil tereftalato, que son las sustancias que sirven para polimerizar el PET, a partir de botellas de PET post consumo (Márquez y Conde, 2007).

El reciclaje surge al tratar de preservar los recursos naturales no renovables y como una manera de aprovechar los residuos con valor.

Desde hace más de dos siglos, la industria de los metales implementó sistemas de reciclaje de chatarra que se recolecta para posteriormente fundirla y convertirla en una pieza nueva. Otra es la industria del papel, cuyo reciclaje data desde principios del siglo pasado cuando los japoneses lo reutilizaban convirtiéndolo en pulpa. El reciclado del vidrio data desde su descubrimiento antes de Cristo, pero en el caso de los plásticos, aunque son reciclables, no se les había dado valor para este fin hasta los años 1970.

El reciclaje en la Industria del Plástico comienza como una necesidad de recuperar el desperdicio y las mermas de las distintas líneas de producción (Márquez y Conde, 2007)

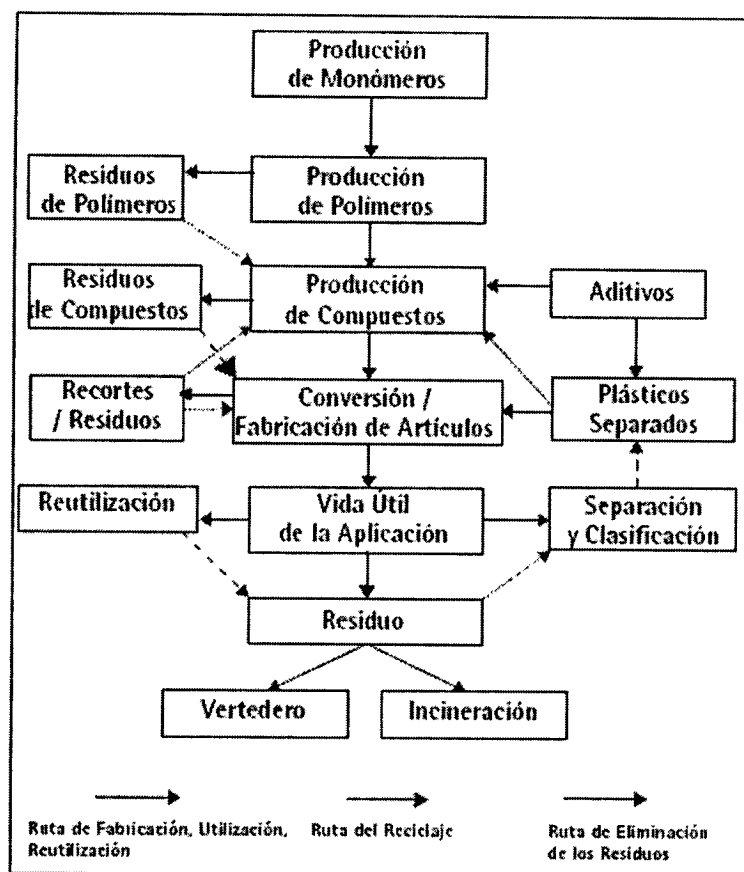
Obviamente en la medida en que incrementan los precios de los plásticos, el reciclaje de los mismos se vuelve atractivo. Así, algunas empresas comenzaron a moler sus residuos para reincorporarlos posteriormente en la línea de producción.

Debido al crecimiento vertiginoso del plástico como material sustituto de otros materiales como el cartón, vidrio y papel, y en la búsqueda constante de disminuir costos, surge la idea de que hay materiales que se pueden recuperar y volver a usar, “el primer producto plástico post consumo que se recicló en México fueron las cajas agrícolas rotas, algunas de refrescos y otros contenedores, esto como consecuencia del aumento en el precio de la materia prima virgen que ocasionó la necesidad de abaratar costos porque no podían repercutir el precio de la materia en la alza del producto final”.(Zesati, 2007)

La Industria del Plástico continuó su crecimiento dando paso a la aparición de los envases desechables o “no retornables”, aumentando el contenido de plásticos en la basura. Esto dio pie a encontrarle un valor a los desperdicios de plásticos, especialmente de envases de PET y otros productos como cubetas, cajas, coladores y otros recipientes, por lo que inició la pepena o separación manual de envases en los tiraderos.



El negocio del reciclado abarca tres etapas, primero la recolección o acopio en la cual seleccionan los materiales, segundo la transformación primaria para hacer la nueva materia prima que puede ser productos prensados en presentación de pacas, tanto limpia como sucia o pellet y por último la transformación hacia un producto terminado.



**Figura 1. Manufactura, uso, reuso y reciclado de plásticos**

En general, más del 80% del material que se acopio en México se exporta a otros países como Estados Unidos que emplea algunos materiales para fabricar ropa térmica, China que tiene un amplio mercado en fibra textil, Malasia, Filipinas, Taiwán y la India y sólo una mínima cantidad se queda en México para transformarlo en otros productos (Zesati, 2007)

## Clasificación del Reciclado Plástico

Uno de los intereses principales para evitar la contaminación generada por los residuos sólidos urbanos es enfocarse en la manera de cómo generar cada vez menos residuos tanto orgánicos como inorgánicos. Del total de los residuos generados en México, el 6.1% lo constituyen los residuos inorgánicos y los plásticos.

La reducción en la fuente se refiere directamente al diseño y a la etapa productiva de los productos, principalmente los envases, antes de ser consumidos. Es una manera de concebir los productos con un nuevo criterio ambiental; generar menos residuos. Y esto es aplicable a todas las materias primas: vidrio, papel, cartón, aluminio y plásticos, obteniendo ventajas como la disminución de la cantidad de residuos, ayudar a que no se saturen rápidamente los rellenos sanitarios, ahorro de recursos naturales, aminorar la contaminación y el efecto invernadero, menos energía para transportar materiales más livianos, menos combustible quemado y por lo tanto menos agresión al ambiente (Frers, 2005).

El reciclaje de plásticos se clasifica en cuatro categorías que son: primario, secundario, terciario y cuaternario. Dentro de la categoría de primario y secundario se lleva a cabo el reciclado mecánico y dentro de la categoría del terciario se lleva a cabo el reciclaje químico.

### Reciclado Primario

Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a las del material original. El reciclaje primario se hace con termoplásticos como PET (Polietileno Tereftalato), PEAD (Polietileno de Alta Densidad), PEBD (Polietileno de Baja Densidad), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno), y PVC (Cloruro de Polivinilo). En este tipo de reciclado se deben llevar a cabo 4 procesos muy importantes que son: Separación, Granulado, Limpieza y Peletizado

**1. Separación:** Los métodos de separación pueden ser clasificados en separación macro, micro y molecular. La macro separación se hace sobre el producto completo usando el reconocimiento óptico del color o la forma. La microseparación puede hacerse por una propiedad física específica: tamaño, peso, densidad, etc. La separación debe hacerse porque

las resinas que componen cada una de las categorías de plástico son termodinámicamente incompatibles unas con otras. A eso hay que sumarle el trabajo de separar las tapas, que generalmente no están hechas del mismo material. Este no es el único inconveniente; en el proceso de reciclaje el plástico pierde algunas de sus propiedades originales, por lo que hay que agregarle una serie de aditivos para que recupere sus propiedades.

**2. Granulado:** Por medio de un proceso industrial, el plástico se muele y convierte en gránulos parecidos a las hojuelas del cereal.

**3. Limpieza:** Los plásticos granulados están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, pegamento, de ahí que deben limpiarse primero.

**4. Peletizado:** Para esto, el plástico granulado debe fundirse y pasarse a través de un tubo delgado para tomar la forma de spaghetti al enfriarse en un baño de agua. Una vez frío es cortado en pedacitos llamados pellets (Peláez, sin fecha).

### Reciclado Mecánico

El reciclado mecánico es el proceso de reciclado más utilizado, se puede llevar a cabo dentro de las categorías de reciclaje primario y secundario y consiste en un proceso físico mediante el cual el plástico de post consumo o el industrial, es recuperado después de pasar por varias etapas como la de separación, limpieza y molido permitiendo su posterior utilización. (Figura 2)

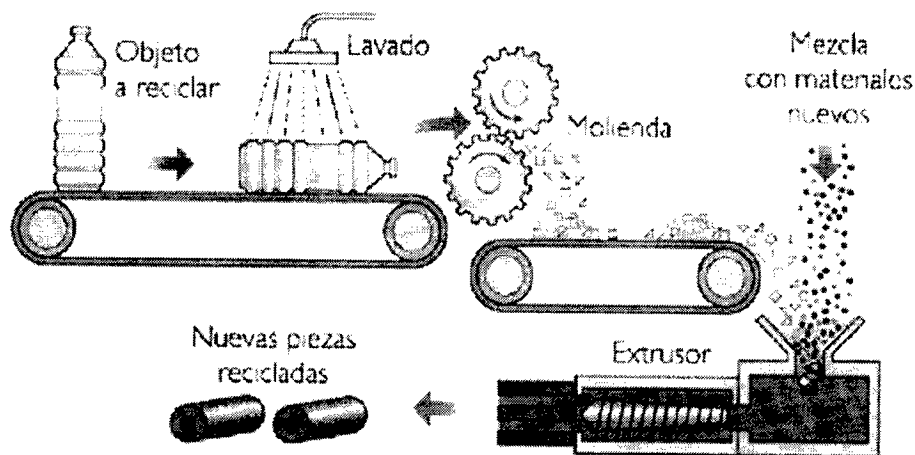


Figura 2.- Reciclado mecánico

Los plásticos que son reciclados mecánicamente provienen de dos grandes fuentes: los residuos de los procesos de fabricación tanto en la industria petroquímica como en la transformadora y es llamado scrap (chatarra), el cual es más fácil de reciclar porque está limpio y es homogéneo en su composición, ya que no está mezclado con otros tipos de plásticos. Algunos procesos de transformación, como el termoformado, generan el 30-50% de scrap, que normalmente se recicla. La otra fuente son los residuos plásticos proveniente de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se clasifican en tres clases:

- Residuos plásticos de tipo simple: han sido clasificados y separados entre sí los de distintas clases.
- Residuos mixtos: los diferentes tipos de plásticos se hallan mezclados entre sí.
- Residuos plásticos mixtos combinados con otros residuos: papel, cartón, metales ([http://www.estrucplan.com.mx/boletines/003/Reciclado\\_plastico.asp](http://www.estrucplan.com.mx/boletines/003/Reciclado_plastico.asp))

### **Reciclado Secundario**

En este tipo de reciclaje se convierte el plástico en artículos con propiedades que son inferiores a las del polímero original, ejemplos de plásticos recuperados por esta forma son los termoestables o plásticos contaminados. Este proceso elimina la necesidad de separar y limpiar los plásticos, en vez de esto, se mezclan incluyendo tapas de aluminio, papel, polvo, etc., las cuáles se muelen y funden juntas dentro de un extrusor. Los plásticos pasan por un tubo con una gran abertura hacia un baño de agua y luego son cortados a varias longitudes dependiendo de las especificaciones del cliente.

### **Reciclado Terciario**

En este tipo de reciclaje se degrada el polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Es diferente a los dos primeros porque involucra además de un cambio físico un cambio químico. Hoy en día el reciclaje primario cuenta con dos métodos principales. Pirolisis y gasificación. En el primero se recuperan las materias primas de los plásticos, de manera que se puedan rehacer polímeros puros con mejores propiedades y menos contaminación. Y en la gasificación, por medio del calentamiento de los plásticos se obtiene gas que puede ser usado para producir electricidad, metanol o amoníaco (Cerro, 1996)

## Reciclado Químico

Este se lleva a cabo dentro de la categoría de Reciclaje Terciario y se trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) dando origen nuevamente a materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos.

El reciclado químico se desarrolló en la industria petroquímica con el objetivo de lograr las metas propuestas para la optimización de recursos y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación, dando origen a productos finales de muy buena calidad (Figura 3). Los principales procesos existentes dentro del reciclaje químico son:

**Pirólisis:** Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío. Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.

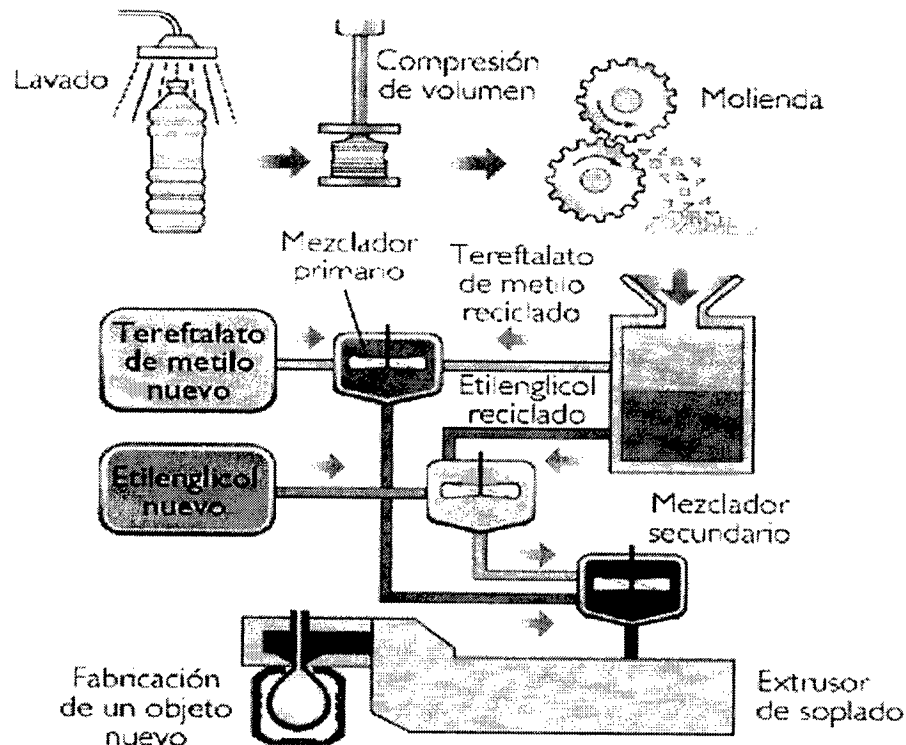


Figura 3. Reciclado químico

**Hidrogenación:** En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas (Yeray, 2007)

**Gasificación:** Durante este proceso los plásticos son calentados con aire o con oxígeno, obteniéndose los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.

**Quimiolisis:** Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvólíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos (Yeray, 2007)

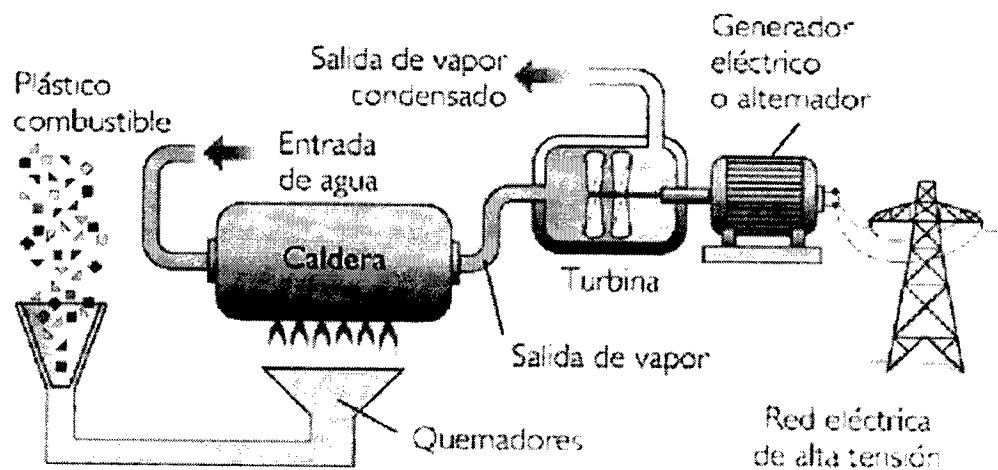
**Metanólisis:** Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonadas. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET. Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la quimiolisis y la metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. En cambio la pirólisis permite utilizar residuos plásticos mixtos. (Frers, 2005)

### **Reciclado Cuaternario**

Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir el plástico es usado como combustible para reciclar energía (Figura 4). Entre las ventajas de este sistema es que los desechos plásticos ocupan mucho menos espacio en los rellenos sanitarios, además de poder obtener la recuperación de metales y el manejo de diferentes cantidades de desechos. Sin

embargo, algunas de las desventajas es la generación de contaminantes gaseosos (Noticiero Plástico, 1998). Existen algunos materiales como el PET de los envases que pueden emplearse para generar energía ya que tiene un poder calorífico de 6.3 Kcal/kg y se puede realizar una combustión eficiente debido a que no se emplean aditivos durante su fabricación por lo que las emisiones de su combustión no son tóxicas (bióxido de carbono y agua) ([www.aprepet.org.mx](http://www.aprepet.org.mx))

La mayor parte de los residuos plásticos tienen un elevado poder calorífico, muy similar al del petróleo (40 MJ/kg), así tenemos que el PE tanto de alta como de baja densidad y el PP posee un poder calorífico de 45, el carbón 25, el PVC 22, envases alimentarios mezclados 45 y envases no alimentarios mezclados 37 MJ kg<sup>-1</sup>, sin embargo los incineradores de residuos sólidos tienen dos restricciones operativas que son el flujo de los materiales y el poder calorífico de los residuos. Con el crecimiento de los residuos plásticos, los incineradores alcanzan más rápidamente sus límites de poder calorífico por lo que los operadores tienen que diluir los residuos con materiales de un contenido energético menor (Hannequert, 2004)



**Figura 4. Reciclado cuaternario**

## **Costos Estimados en los Procesos de Reciclado**

El reciclado incluye una gran variedad de técnicas y métodos de procesado, por lo que solo se discutirá brevemente. Los costos para un caso individual deben ser analizados, considerando que los materiales reciclados regresan al mercado de los materiales plásticos, donde reemplazan prácticamente el material virgen, el precio de éstos está orientado hacia la materia prima virgen, con una cierta reducción debido a la pérdida de propiedades físicas, químicas y mecánicas. La reducción es estimada alrededor de un 60% del material virgen.

La situación económica en el mercado varía principalmente dependiendo del precio de posicionamiento en el mercado y de las actividades llevadas a cabo como la recogida selectiva y la separación, el transporte, el procesado incluyendo el tratamiento previo, la eliminación de los desechos de la separación, etc. Por ejemplo, los costos de la recogida selectiva oscilan entre 50 y 800 euros  $Tm^{-1}$ , los de separación entre 50 y 200, de transporte de 27 a 45 y los de eliminación de desechos entre 10 y 220 euros  $Tm^{-1}$  (Hannequart, 2004).

El índice de precios de plásticos reciclados en el mercado a Septiembre de 2008 nos indica que el costo del scrap de ABS es de 0.14 dólares por libra, de PC 0.20, scrap de la mezcla de PP es de 0.21, de scrap de PVC, 0.23 dólares la libra de la mezcla de desecho de PET, LDPE y de HDPE es de 0.22 dólares y la de PS de 0.28 dólares por libra (<http://www.tetsrecycle.com/plastics/prices/pricesarc01.htm>). Domino Plastics reporta precios de Nylon 66 de 0.35 a 0.69 dólares por libra dependiendo del color y el virgen a 1.29, el pellet de PC negro a 0.63, el PP con mezcla de colores de 0.36 a 0.55, el PVCF a 0.29 y el PVCR de 0.22 a 0.44 dólares por libra ([http://www.domplas.com/tbl\\_bind.asp](http://www.domplas.com/tbl_bind.asp))

## **Identificación de los Materiales Plásticos**

Es importante la identificación de los materiales para conocer las propiedades del material que se va a reciclar porque generalmente se compran las pacas de plástico, las cuales



no vienen etiquetadas y en su contenido vienen mezclados diferentes tipos de plástico además de otros residuos que puedan contener.

### **Apariencia Física**

Mediante propiedades físico-mecánicas se distinguen tres grupos: Rígidos (se rompen al doblar como el PMMA, SAN, PS), Semirrígidos (que pueden romperse como el ABS, PBT) y Flexibles (que se doblan sin romperse como EVA, LDPE).

### **Propiedades Ópticas**

Las propiedades ópticas determinan la cantidad de luz que puede pasar a través de la muestra plástica, dividiendo a los plásticos en: Transparentes, translucidos y opacos

### **Densidad**

Con las pruebas de densidad se clasifican los plásticos en los que flotan o no en agua, los que flotan o no en solución alcohol, y los que flotan o no en solución salina.

### **Comportamiento al Calor**

Los plásticos son compuestos orgánicos con la facilidad o dificultad de ser combustibles., clasificándose como: Termoplásticos y Termofijos y según su comportamiento al calor pueden fundirse, fundirse y gotear, carbonizarse o clasificarse por el color de humo que se desprende durante la combustión de las muestras. (Schwarz, 2007)

### **Métodos Químicos**

Los métodos químicos se realizan para una identificación exacta del material por lo que es necesario que se encuentre puro y no tenga aditivos, ya que pueden actuar como impurezas y afectar los resultados. Las pruebas realizadas son: Comportamiento al calor, Densidad, Índice de refracción, Punto de fusión, Solubilidad de los plásticos

## Métodos de Separación de Materiales Plásticos

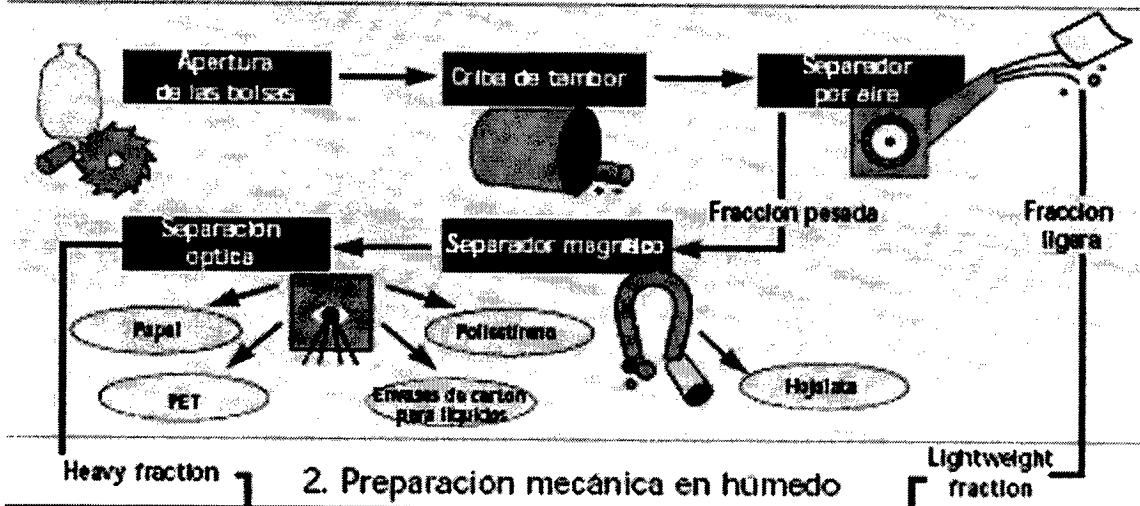
Considerando que después del acopio, las pacas vienen con gran diversidad de plásticos, es necesario primeramente hacer una separación manual para recoger fácilmente materiales como papel, vidrio y plástico. Una vez separados los plásticos por tipo, ya en planta según el proceso de reciclaje que tengan se pueden separar por diferentes métodos: Separación por Densidad (en húmedo, en seco y separación centrifuga), Separación Magnética, Separación Electroestática y Separación Óptica).

Los residuos plásticos que llegan a una institución de separación proceden de diferentes sistemas de recogida y de distintos flujos de residuos (doméstico, de construcción y demolición, industrial, comercial y agrícola), por lo que la calidad, cantidad y tamaño de los residuos plásticos son variables, siendo generalmente pequeños como botellas de plástico, siendo la calidad de los materiales la que determine su precio, por lo que un material limpio (un solo material, monocolor y con pocas impurezas) será más valioso que un material mal clasificado (diversos materiales, varios colores y con un alto nivel de impurezas). En base a esto debe establecerse un equilibrio entre el esfuerzo y el costo adicional que implica la separación del material y el aumento potencial del valor de un material más limpio (Hannequart, 2004). En la siguiente figura se esquematiza el proceso

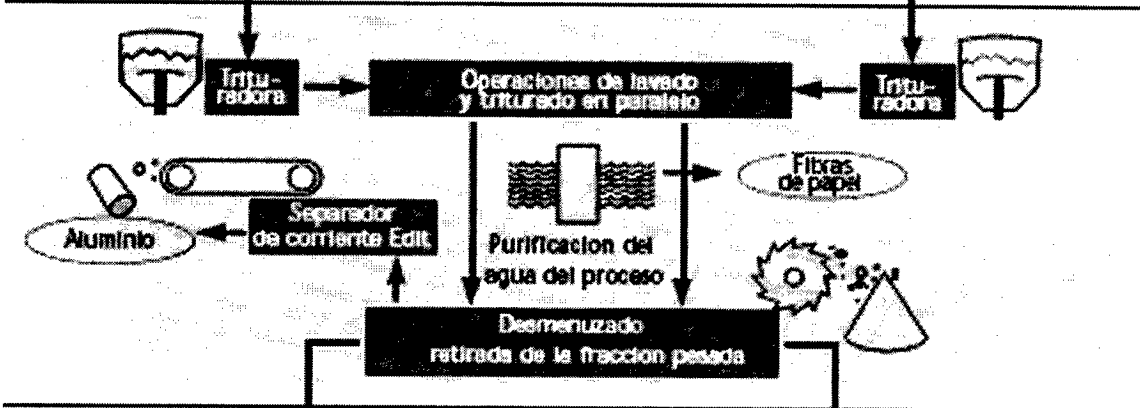
Para la separación de los plásticos de un flujo de alimentación de materiales, la hidrotrituración es de las más disponibles comercialmente, para ello se utiliza una trituradora (un depósito grande de agua con agitación) para separar el papel. En el agua un rotor gira de manera constante desgarrando los materiales compuestos y los separa en fibras de papel, plástico y compuestos de aluminio-plástico.

La separación centrifuga funciona en un campo gravitatorio en donde los plásticos desmenuzados son clasificados en base a su densidad. La técnica de flotación es la más habitual y se basa en las diferencias de densidad entre los polímeros, sin embargo puede resultar difícil cuando los plásticos tengan similar densidad y otra desventaja de estos métodos es que como son en húmedo, generan aguas residuales (Hannequart, 2004)

### 1. Separación mecánica previa en seco



### 2. Preparación mecánica en húmedo



### 3. Procesado de los plásticos

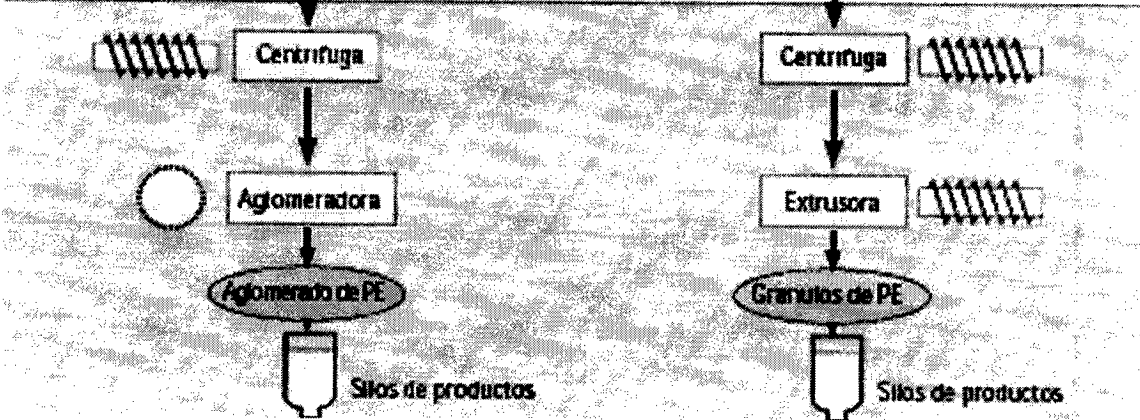


Figura 5. Separación de materiales

## **Sistemas de Molienda**

La mayoría de los procesos de reciclado contempla la etapa corte para la disminución de tamaño de los productos residuales a una forma apropiada para el transporte y alimentación del extrusor empleado, teniendo en cuenta que si no se utilizan los equipos o procedimientos de operación adecuados se puede destruir el plástico, por lo que se debe tener en cuenta que existen plásticos que absorben energía, plásticos de alto impacto y materiales “desmenuzables” que se rompen en partes fácilmente con un impacto muy leve.

### **Técnicas de Reducción de Tamaño**

Las técnicas típicas de reducción de tamaño incluyen, trituración, granulación, compactación, aglomeración y pulverización. El tipo de equipo empleado depende grandemente del material al ser procesado.

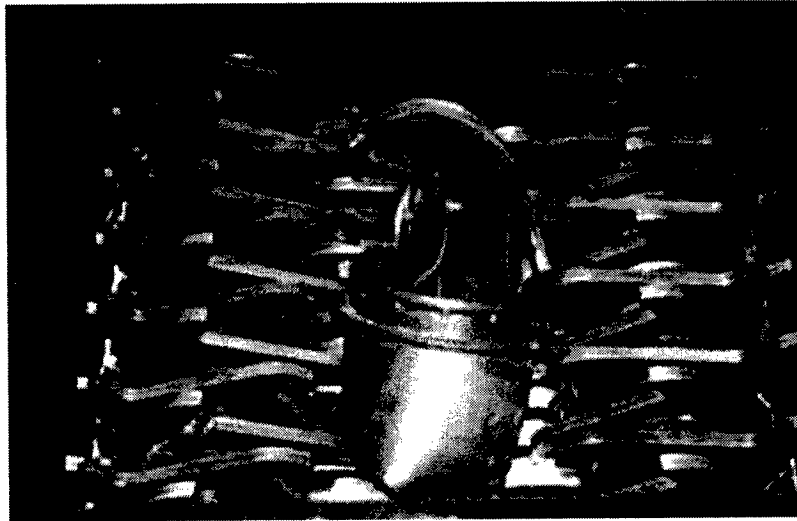
Frecuentemente es común combinar diversos procesos de reducción durante el reciclado de plásticos. Por ejemplo en el caso de residuos de poliuretano, los materiales primero son alimentados en una secuencia de triturador, granulador y finalmente un molino de discos de impacto (o pulverizador).

#### **Trituración**

Se cuenta en el mercado un amplio rango de trituradores cuyo principio de operación está basado flechas no sincronizadas o sincronizadas con movimiento contrarrotatorios, equipados con discos de corte y anillos a intervalos cuya función es de desgarrar y corte utilizándose para plásticos de película, lamina, productos huecos y cable.

El triturado reduce los plásticos mezclados a hojuela de un tamaño menor de 50mm en procesos ordinarios y la producción del triturador depende de la densidad, forma y naturaleza

del plástico al ser procesado, de las características del cortador y del diámetro de la malla de salida ([www.isve.com/sp/plastica.htm](http://www.isve.com/sp/plastica.htm))



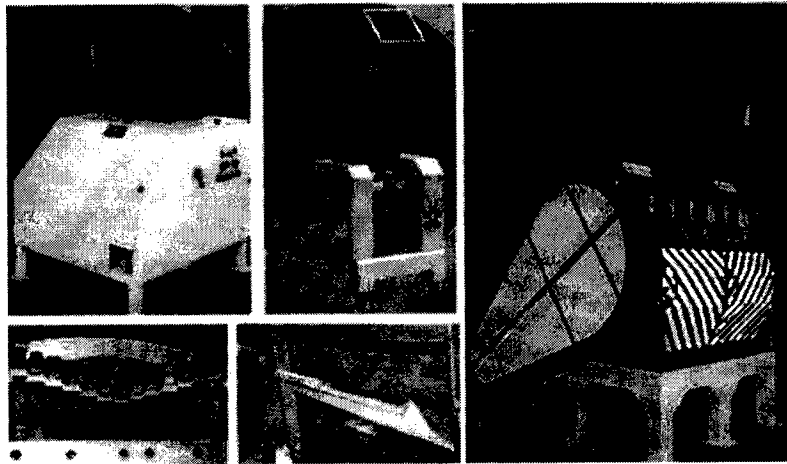
**Figura 6. Triturador ISVE**

### **Granulación**

Los cortadores rotatorios de cuchillas son los equipos más utilizados tanto para la recuperación de “scrap” al interior de la planta como la reducción de tamaño de productos postconsumo. Este equipo se caracteriza por contener múltiples cuchillas rotatorias y tres o cuatro cuchillas fijas, con el eje rotatorio instalado en un ángulo ligeramente distinto con respecto a la flecha del rotor y a las cuchillas fijas que son instaladas en el mismo ángulo pero en dirección opuesta para asegurar un corte constante a lo ancho de la cuchilla ([www.interempresas.net/plastico/feriavirtual](http://www.interempresas.net/plastico/feriavirtual))

Las cuchillas atornilladas en los extremos de cada disco se distribuyen en forma de V, obteniéndose un mayor rendimiento de producción y menor ruido comparado con un molino convencional de igual potencia. Otras características son la amplia gama de materiales (botellas de PET, moldes de plástico, película, etc.), cuchillas y contra cuchillas resistentes y fácilmente intercambiables, dispone de un sistema de refrigeración por agua (eje) y por aire (rodamientos), alimentación material dosificada mediante transportador en función de la intensidad motor y es posible el volteo de la tolva alimentación mediante cilindro hidráulico.

La potencia instalada es hasta 160 kW, los rodamientos son auto lubricados y la parrilla de salida del material es intercambiable



**Figura 7. Molino de cuchillas Recovery**

Para lograr una mayor calidad de los gránulos resultantes y bajar costos de operación en consumo de energía se recomienda dejar un espacio muy cerrado entre cuchilla y cuchilla (0.2-0.3 mm). Los granuladores con rotor de corte tijera son excelentes para la reducción de partícula de película apilada y recortes de película tejida (<http://www.goldpress.com.br>)

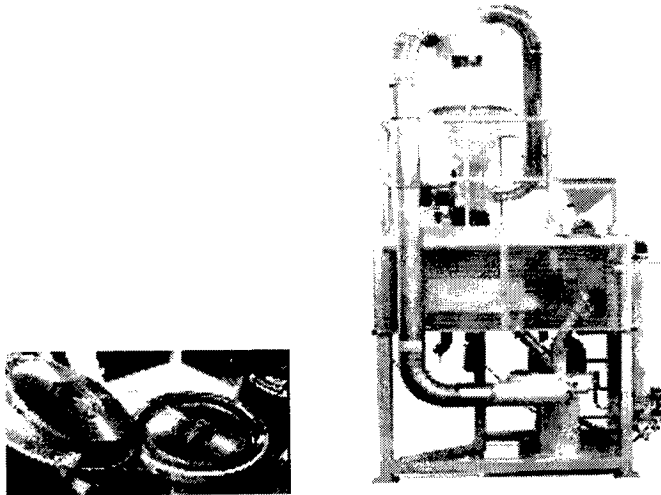
### **Pulverización**

Se utilizan molinos para convertir el plástico residual limpio en un polvo limpio, así por ejemplo, el desecho de PVC puede procesarse en un polvo para ser reutilizado en extrusión, en tanto que el de polietileno de ultra alto peso molecular se pulveriza para utilizarse directamente en moldeo por compresión para lamina. Los polvos finos generados por pulverización tienen aplicación como cargas, recubrimiento con polvo sintetizado, polvos para moldeo, etc. Los polvos obtenidos por el método de pulverización tienen excelentes características de flujo, alta densidad volumétrica y su composición es homogénea.

Tanto los molinos de pulverizado como los de disco pueden ser utilizados para pulverizar polímeros sensibles al calor, en polvos finos con un tamaño de partícula menor a 50  $\mu\text{m}$ , siendo ideales para las poliolefinas, poliamidas, poliésteres, poliuretanos y PVC rígido

y flexible, llevándose a cabo la reducción de tamaño entre el golpeteo del ventilador del disco y la malla cuyo orificio que es el que determina la fineza del polvo. En el caso de plásticos pintados o platinados donde las impurezas no pueden ser separadas del material plástico por técnicas convencionales, éstas son molidas a un tamaño de partícula pequeño de manera que actúen simplemente como cargas inertes. ([http://www.neue-herbold.de/es\\_index.htm](http://www.neue-herbold.de/es_index.htm))

El principal inconveniente de este proceso es la generación de altas temperaturas en la zona del filo de las hojas del molino, por lo que puede originar que el polímero se adhiera a los discos, resultando consecuentemente en una reducción gradual en la efectividad del corte.



**Figura 8. Molino pulverizador de polietileno.**

### **Procesos Densificadores.**

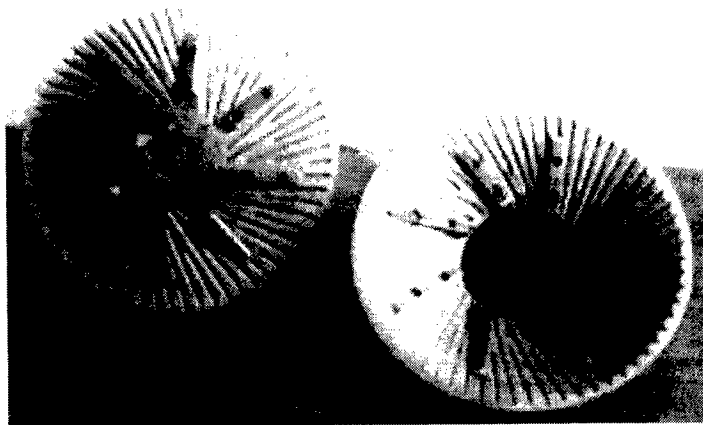
Cuando los plásticos residuales basados en película para empaque, fibras textiles y espumas son extremadamente voluminosos requieren ser aglomerados o densificados para la obtención de gránulos de libre flujo que faciliten las etapas de transportación, dosificación y alimentación mediante un proceso de aglomeración, en donde el material no alcanza a ser fundido sino solo se reblandece mediante un calentamiento local y transitorio, sucediendo realmente un fenómeno de compresión. Es importante cuidar no alcanzar la temperatura de

fusión de los materiales porque hace inestable los procesos de compactación cuando los plásticos se funden. (ESSA Reciclados de México S. A. de C. V., 2008)

Entre las ventajas de los procesos de aglomeración y compactación se encuentran la reducción del volumen de almacenaje, transportación económica, propiedades de flujo y dosificación mejorada, así como la ausencia de polvo.

Los plásticos voluminosos como película delgada para empaque de poliolefinas, fibras de polipropileno o poliamidas (cuya elasticidad hace casi imposible su compactación en un proceso de reciclado convencional), cintas y fleje de PP, espumas de PS o PE, pueden aglomerarse o densificarse en gránulos utilizando un disco mezclador de fricción que convierte los plásticos difíciles de reciclar en gránulos de flujo libre, con mayor densidad. Tanto los discos estacionarios como rotatorios son radialmente acanalados o en forma de listones, similar a los molinos de piedra (Figura 9)

En el proceso de aglomeración por compresión el material se compacta en forma de pellet alargado y firme producido continuamente. En la primera etapa el material granulado grueso se alimenta en el dado presionado verticalmente de arriba, para formar una capa en la superficie del dado (Figura 10) ([www.mwk-kunststoff.org/wir-stellen-uns-vor.html](http://www.mwk-kunststoff.org/wir-stellen-uns-vor.html))



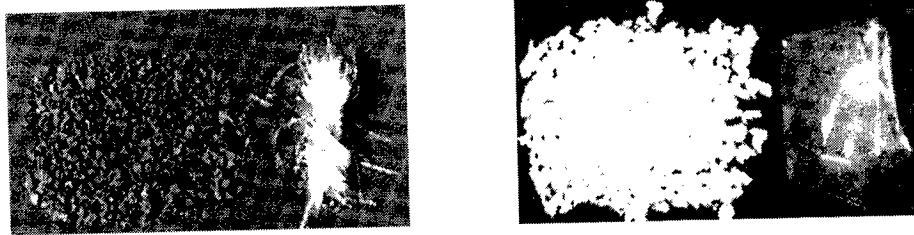
**Figura 9. Discos MWK plastcompounder Typ SV**

Después se pasa una serie de rodillos sobre esta capa causando un compactado y forzando al material a pasar a través de los canales de plato del dado para salir como una



trenza continua que es picada por una cuchilla rotatoria. Materiales voluminosos como espuma de poliuretano se densifican para reducir el costo de manejo y transportación.

Las espumas son reducidas a “pizcas” con un diámetro máximo de 2 cm utilizando un granulador convencional de cuchillas y luego se transporta neumáticamente a un molino peletizador con dado plano donde se pulverizan entre los rodillos y pasan por los orificios a través de un dado para producir trenzas sólidas. Por ejemplo, en el caso del Poliuretano, la densidad se incrementa de aproximadamente  $35 \text{ kg m}^{-3}$  a  $1100 \text{ kg/m}^3$  mientras los pellets finales tienen una densidad volumétrica de  $500 \text{ kg m}^{-3}$ .

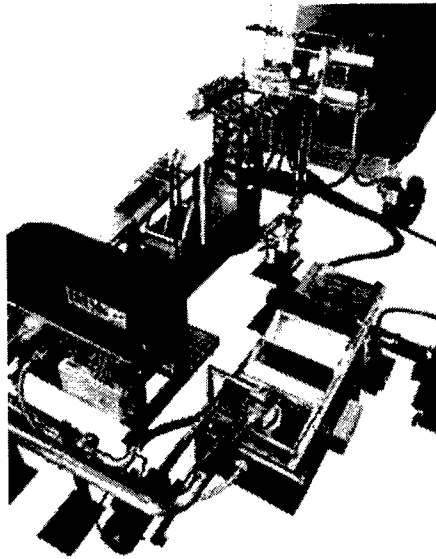


**Figura 10. Tamaño del gránulo o pellet**

Tanto la pulverización como la formación del pellet generan calor (los pellets a la salida del molino tienen temperaturas alrededor de  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ ), por lo que puede ser necesario aplicar enfriamiento para evitar la degradación térmica en el caso de los polímeros térmicamente sensibles, mientras que los de baja temperatura de fusión (espumas de LDPE), el enfriamiento es requerido para prevenir la formación de aglomerados que puedan originar problemas durante la dosificación y transporte del material.

En el proceso de aglomeración por agitación los materiales plásticos, se agitan vigorosamente causando su aglomeración en partículas con mayor densidad. La diferencia entre aglomeración por agitación y por compactación es que en el de compactación, las partículas no se adhieren a sí mismas por la acción de una presión mecánica externa, mientras que en el de aglomeración se logra por altos esfuerzos desarrollados entre las cuchillas rotatorias, que inducen rápidamente a los materiales plásticos a alcanzar un punto cercano al estado fundido. Este proceso se puede llevar a cabo en lotes (utilizando inyección de agua

para controlar la temperatura) o en forma continua (por alimentación directa conectado a un extrusor) (Méndez, 2007).



**Figura 11. Granuladora ASP de EREMA ([www.ereama.at/es/152](http://www.ereama.at/es/152))**

### **Problemas Típicos en el Reciclado de Materiales Plásticos.**

Una de las ventajas de utilizar materiales termoplásticos para el moldeo por inyección de partes es su reciclabilidad, práctica estándar para los procesadores que utilizan un porcentaje de sus productos de pre-consumo (“scrap” de rebabas o remolido) para realizar partes nuevas. Actualmente el uso de los plásticos de pre y post-consumo para la manufactura de productos inyectados se ha incrementado significativamente. Aunque las ventajas del reciclado de los materiales termoplásticos son numerosas, hay consideraciones especiales que deberán tomarse en cuenta cuando se utilizan materiales plásticos reciclados.

Teóricamente cualquier material termoplástico puede ser remolido o moldeado nuevamente por varias ocasiones, sin embargo existe un número de restricciones prácticas que

limitan la factibilidad de reciclado de los materiales como la disponibilidad, consistencia en la calidad, procesabilidad, por lo que deben considerarse los siguientes factores:

### **Aplicación Final.**

Dependiendo de las fuentes del material, el desempeño y la calidad de la resina reciclada variarán sus propiedades, principalmente las de impacto. Cuando la precisión del desempeño del producto es crítica el uso de las resinas recicladas puede ser relevante. Cualquier formulación de materiales que contenga un porcentaje mayor de “scrap” o de material de post-consumo deberá ser evaluado para verificar que cumpla con las especificaciones requeridas (Moreno, Sin fecha).

### **La Fuente de Resina Reciclada**

Es importante para asegurar que la aplicación y calidad del material sea considerable. Formuladores y fabricantes de resina actualmente ofrecen una calidad consistente en los materiales reciclados en grado de peletizado, los cuales frecuentemente son modificados o reforzados con resina virgen o aditivos.

### **Relación de Material Virgen/Reciclado.**

La cantidad de material reciclado utilizado en una aplicación depende del tipo de material y los requerimientos de desempeño, en aplicaciones críticas, el uso de remolido o de reciclado puede no ser aceptado. Generalmente los productos se desarrollan a partir de mezclas de material virgen y reciclado, por lo que la relación seleccionada y el método de mezclado deben ser controlados durante la producción para evitar problemas durante su procesado (Méndez, 2007).

### **Consideraciones de Peso Molecular Promedio.**

Los plásticos de ingeniería que no se secan adecuadamente secados durante su procesado tienden a reducir el peso molecular promedio, reduciendo también la viscosidad y propiedades de desempeño. Cuando se utilizan resinas de post-consumo es importante considerar las diferencias de peso molecular entre la resina virgen y la reciclada. Por ejemplo HDPE granulado grado botella de post-consumo, se utiliza para obtener productos inyectados

con un 25% de reciclado, el peso molecular del reciclado es significativamente más alto y más viscoso que el de grado inyección. Es por esto que los procesadores deberán considerar el efecto de la resina más viscosa en las variables de procesado y en las propiedades de las resinas tales como la fluidez y acabado superficial.

### **Estructura del Material y Morfología.**

El peso molecular, la estructura y la morfología de un material plástico pueden o no ser influenciado por la historia térmica, generando un cambio de propiedades que dependerá de la historia térmica, el tipo de material específico y los aditivos utilizados. La facilidad del reciclado o el factor de retención de las propiedades son criterios importantes en la selección de materiales

### **Consideraciones para los Aditivos.**

La contaminación de polvo, aceite, pintura puede considerarse como “aditivos inesperados”, y deberán ser evitados a toda costa, aunque son difíciles de detectar, cantidades diminutas de contaminación pueden tener un efecto drástico en el desempeño de los materiales. Los contaminantes sólidos pueden presentar problemas de procesado como el bloqueo del orificio de inyección o de los canales de flujo, además la condición y concentración de los aditivos contenidos con el material reciclado. Muchas resinas contienen antioxidantes o estabilizadores que por su naturaleza son consumidos y por lo tanto se ven afectados por la historia térmica.

### **Degradación**

La mayoría de los procesos de reciclado dependen de la historia térmica durante el proceso de extrusión, inyección, etc. de los plásticos recuperados, por lo que la degradación de los materiales es una consideración importante durante su procesado ya que puede causar una reducción en las propiedades físicas como defectos superficiales o inestabilidades en el proceso. La degradación presente en los procesos de moldeo por inyección o extrusión puede ser mecánica cuando es causada por un esfuerzo de corte mecánico excesivo durante el procesado.

La degradación térmica ocurre a elevadas temperaturas, mientras que la química es causada por una reacción entre el polímero y alguna sustancia química (ácido, gas, solvente), en tanto que la degradación oxidativa resulta como una combinación de calor, oxígeno y parámetros mecánicos.

### **Mecanismos de Degradación**

Existen diferentes mecanismos de degradación como el de *entrecruzamiento* que empieza con la formación de grupos radicales libre peroxi que substraen moléculas de hidrógeno de las cadenas de polímero para generar hidroperóxidos inestables y más radicales libres que inician de nuevo el proceso de degradación. La característica de este mecanismo es un incremento en el peso molecular y la viscosidad del polímero y una disminución en el índice de la fluidez. Si no tiene ayudas de procesos adecuados (aditivos) el ciclo continuara hasta que dos radicales se combinen llevando a un incremento en el peso molecular y la formación de gases (<http://html.rincondelvago.com/polimeros-sinteticos-y-naturales.html>)

El *rompimiento de cadena* es el otro mecanismo de degradación y ocurre con las disociaciones en los enlaces de carbono, se caracteriza por una disminución en el peso molecular. En los procesos de moldeo por inyección y extrusión los parámetros de procesado (temperatura y presión), afectan a la degradación de los materiales plásticos.

La temperatura de fundido está influenciada por la caída de presión, el perfil de temperaturas, la velocidad del husillo y el tiempo de residencia, mismos que son manipulados para mantener la temperatura en un rango óptimo de procesado. La degradación de los plásticos durante el procesado a temperaturas altas puede manifestarse como cambios en el color, en las propiedades físicas (resistencia al impacto y rigidez), en la viscosidad del fundido, en la estabilidad térmica así como cambios de la resistencia química.

Los cambios en las propiedades físicas se presentan después de que los materiales estuvieron expuestos a temperaturas elevadas y se deben principalmente a cambios en la estructura química (Reducción del peso molecular por ruptura de enlaces químicos, aumento del peso molecular por entrecruzamiento y formación de ciclos por reacciones laterales).

La degradación del PE ocurre con el rompimiento de cadena debido a altas temperaturas (más de 310 °C) disminuyendo la resistencia tensil y aunque el mecanismo dominante es el entrecruzamiento, ambos mecanismos de degradación pueden ocurrir simultáneamente. El tipo de catalizador empleado en la polimerización tiene efecto en el tipo de mecanismo de degradación, así por ejemplo, el PE obtenido por el proceso de Ziegler-Natta presenta un rompimiento de cadena, mientras que el HDPE obtenido por el proceso Phillips presenta entrecruzamiento. La degradación puede causar heterogeneidades en el fundido que puede resultar en la formación de geles y consecuentemente defectos superficiales llamados piel de tiburón, el PE se decolora durante la degradación tornándose entre amarillo y café (Méndez, 2007)

La degradación afecta al PP por el mecanismo de rompimiento y generalmente ocurre a temperaturas arriba de 240 °C viéndose afectadas las propiedades reológicas, la viscosidad disminuye al igual que las propiedades mecánicas. En el procesado del PP se utilizan estabilizadores, debido a que la presencia del oxígeno promueve la degradación.

### **Re-estabilización con Aditivos.**

Como el material reciclado presenta mayor cantidad de sitios débiles deben diseñarse sistemas de estabilización específicos para cada tipo de reciclado, lo que conduce a un mejoramiento de los plásticos degradados o envejecidos que ya fueron procesados y que estuvieron en uso por periodos prolongados de tiempo.

Los materiales usados en objetos transitorios y estabilizadores térmicos generalmente no contienen estabilizadores UV, por lo que si se quiere reciclar bolsas de supermercado que están diseñados para corta duración para obtener un producto de mayor duración, esto generará muchas complicaciones. El reprocesado que involucra limpieza, secado, formulado, etc., reduce el contenido de estabilizadores activos después de varios ciclos, por lo que la re-estabilización puede aplicarse en resinas o mezclas de resinas predañadas durante el procesado inicial o después de su primer ciclo de vida, en resinas ligeramente contaminadas por otros materiales poliméricos, resinas expuestas en su primer ciclo de vida a sustancias agresivas o en mezclas o plásticos provenientes de residuos industriales o recolección de basura de los consumidores (Herbst, *et al.*, 1996). El material reciclado contiene impurezas introducidas

durante el primer ciclo de procesado, las condiciones de vida del producto y el reprocesado. Esas impurezas incluyen trazas metálicas, grupos carbonilo, ácidos y otras trazas de polímero responsables de la auto-oxidación y foto-oxidación.

### **Contaminación en el Reciclado de Diversas Resinas**

La contaminación en el reciclado de plásticos abarca una gran diversidad de formas como polvo, polímeros parcialmente oxidados o degradados, tinta de impresión, papel, pesticidas, metales, aditivos retardantes a la flama y antioxidantes y sus productos de transformación, por lo que las probabilidades de interacciones antagónicas y de contaminación no detectada son muy altas, conduciendo a una reducción en la calidad del reciclado.

Cuando la contaminación por materiales no plásticos como el metal se presenta en el reciclado plástico provoca el taponamiento en los orificios de inyección, cuando es por papel o fibras causa el colapsamiento de la burbuja en la extrusión de la película, la tierra o polvo disminuye la calidad estética del reciclado, originando la formación de geles, los pigmentos y colorantes proporcionan variaciones en el color, en tanto que el agua provoca la degradación hidrolítica en el PET y en el PE defectos superficiales, el aceite provoca olores indeseables además de la generación de humos durante el procesado.

El reciclado de plásticos es una alternativa para contribuir con la solución del problema de la generación de desechos plásticos. Generalmente para separar impurezas de una corriente donde predomina un plástico en particular es mediante la diferencia en densidades o para obtener un mayor grado de separación y purificación se solubilizan los plásticos, mientras que los productos plásticos multicomponentes se separan utilizando mezclas de solventes que permitan una disolución selectiva.

Actualmente se reciclan plásticos que comprenden materiales que fueron manufacturados con anterioridad (desde hace 20 años posiblemente), por lo que es necesario conocer sobre los tipos de aditivos presentes y sus productos de conversión después del proceso de reciclado.

## Mezclas de Materiales Plásticos

En el desarrollo de mezclas de materiales plásticos recuperados y comercialmente útiles, la compatibilización ha adquirido una importancia relevante en el reciclado. Esta consiste en el proceso de transformar una mezcla de materiales plásticos residuales a una mezcla con utilidad comercial, debiendo considerarse tanto la composición de la mezcla y del compatibilizante como las condiciones de procesado de la etapa de transformación de la mezcla fundida al producto final conservando las propiedades convenientes de cada componente minimizando el efecto de las propiedades no deseadas

Los componentes de la mezcla se ven afectados directamente por una alta tensión interfacial así como una pobre adhesión lo que promueve altas viscosidades, dispersión inadecuada, separación de la mezcla durante el procesado o aplicación además de un comportamiento frágil y quebradizo

Una mezcla incompatible es cuando los componentes no presentan una separación de fases severa, en esta mezcla los componentes son inmiscibles en un nivel molecular, mientras que en las mezclas homogéneas son termodinámicamente miscibles y tienen una sola temperatura vítrea. La incompatibilidad de los materiales plásticos reciclados promueve la separación de fases así como la disminución en las propiedades físicas. La compatibilidad se puede mejorar mediante la incorporación de compatibilizantes como los copolímeros en bloque o al azar, siendo éstos adecuados para cada mezcla.

La etapa de compatibilización puede ser mecánicamente mezclando un dispersivo que influye directamente sobre la morfología del sistema, o también puede ser mediante un proceso químico (con la incorporación de un tercer compatibilizante) para lograr una interacción entre los componentes para redefinir y estabilizar la mezcla. Un compatibilizante eficiente deberá reducir la energía interfacial, permitir una dispersión más fina durante el mezclado y promover una adhesión interfacial mejorada



## **Reciclado del Polietilentereftalato (PET)**

El PET es una molécula lineal que puede estar en estado amorfo como cristalino, en éste, las moléculas están altamente organizadas y en forma de pequeños cristales. El nivel máximo de cristalinidad que se puede lograr es de un 55%, siendo en las botellas de PET para bebidas carbonatadas del 25%. El grado de cristalización del PET es de gran importancia en su procesado ya que afecta grandemente la claridad del producto y su procesabilidad. Para reducir la cristalinidad del PET se producen copoliésteres reemplazando una porción del ácido tereftálico con otro ácido dibásico o glicol. Así mismo, tanto las propiedades mecánicas y de barrera son características del PET que le aportan una distinción relevante en sus diversas aplicaciones (Méndez, 2007)

Este material puede ser reciclado prácticamente por todas las técnicas, desde el reciclaje mecánico al químico así como por pirólisis para la obtención de carbón activo, sin embargo cuando se recicla el PET pueden aparecer problemas, por ejemplo los adhesivos de las etiquetas pueden ser causa de decoloración y pérdida de transparencia, mientras que la humedad residual durante el reprocesado puede inducir al amarilleo y altera las propiedades mecánicas del producto reciclado

En Estados Unidos existen más de 1,400 productos hechos a partir de plásticos reciclados, los mercados para la fibra de PET reciclado incluyen indumentaria, alfombras, textiles no tejidos y rellenos de fibra, siendo el mayor fabricante de esta fibra Wellman, de Shrewbury, New Jersey que produce el Fortrel Ecospun a partir de botellas de PET recicladas cuyas ventas se incrementaron de 3 millones de libras en 1993 a 30 millones en 1997. (Hannequart, 2004). Teijin Ltd. recicla botellas de PET para producir textiles y películas, produciendo 50,000 toneladas anuales en 2003, otra compañía, la Aies Co. Ltd. desarrolló una técnica para manufacturar resina por rompimiento del monómero BHET usando un nuevo método de depolimerización con EG con una producción anual de 23,000 toneladas anuales en 2004 (Plastic Waste Management Institute, 2004)

Generalmente se busca elaborar pellets de PET reciclado cristalino, preferido este por sus propiedades, ya que la resina amorfa tiene a suavizarse y pegarse a temperaturas elevadas

durante el secado. El uso del PET reciclado esta condicionado a los requerimientos de pureza de contacto con alimentos. Generalmente no se tolera la contaminación en aplicaciones de fibra o botellas debido a los problemas de rompimiento de las fibras y consideraciones estéticas (Rémech, 2006)

Los contaminantes presentes generan compuestos ácidos a temperaturas elevadas durante el proceso de extrusión es un grave problema en el procesado del PET, ya que las reacciones de rompimiento de cadena son catalizados por los compuestos ácidos. Contaminantes como PVC, adhesivos EVA, papel, generan compuestos ácidos que catalizan que el copolímero EVA del empaque de las tapas produce acido acético.

#### **Contaminación de PVC en PET.**

El PVC como contaminante en el PET, aun en pequeñas cantidades, genera efectos considerables en la viscosidad intrínseca del PET además de una marcada disminución. Tanto PET como PVC son contaminantes mutuos debido a la similitud de sus pesos específicos, por lo que no pueden ser separados por procesos físicos ordinarios (flotación en agua o elutriación con aire), sino por medios mas sofisticados. El PVC no es estable a la temperatura de proceso del PET (aproximadamente 280 °C) a estas temperaturas en el PVC se promueve la dehidroclorinacion, con un evolución copiosa de HCL. La presencia de cantidades mínimas de PVC (100 ppm) en PET recuperado puede originar serios problemas de decoloración en el PET durante su fase de secado, contaminando al plástico con manchas negras durante la extrusión.

#### **Contaminación de HDPE en PET**

Ambos polímeros son incompatibles en estado fundido y en estado solidificado permanecen como fases separadas, la contaminación de HDPE es visualmente defectuosa causando zonas mecánicamente frágiles y con fallas en la matriz del PET.

#### **Contaminación por Humedad**

También existe contaminación por humedad que deberá estar por debajo de 0.02% para evitar la reducción en el proceso por hidrólisis. Cualquier cantidad de humedad no volatizada

antes de fundir el PET reacciona inmediatamente y pequeñas cantidades de humedad pueden reducir la viscosidad a niveles inaceptables en el procesado de botellas.

El PET reciclado y seco antes de su reprocesado experimentará pérdidas de viscosidad de aproximadamente 0.05 puntos. La temperatura de secado afecta las características de procesado del PET cuando los lotes contienen impurezas de PVC. Con temperaturas de secado inferiores a las de degradación del PVC (120 °C por 24 horas), generan formación de manchas negras durante la extrusión dando una pobre estabilidad reológica en PET transparente debido a las reacciones de hidrólisis catalizadas por el HCl (Méndez, 2007)

Cuando se seca PET a temperaturas muy altas (230 °C por 4 horas) la mayor parte de HCl es gasificado durante el ciclo de secado mejorando significativamente la estabilidad reológica del materia, pero el extruido muestra la formación de grandes manchas negras. Todo tipo de contaminantes debe ser removido porque pueden generar compuestos ácidos que catalicen la hidrólisis del PET, cuando hay adhesivos contaminando al PET, éste se degradará una vez que se caliente el extrusor, produciendo resina con baja viscosidad intrínseca y con una consecuente decoloración. El acetaldehído es otro producto de degradación en el PET reciclado y virgen, aunque debido a su volatilidad, es fácil de remover, siendo un grave problema a considerar en las aplicaciones del PET en contacto directo con alimentos.

### **Contaminación por Polímeros Degradados**

Las impurezas de resinas degradadas del PET son frecuentemente generadas durante la etapa de reprocesado en fundido, durante la extrusión del PET pueden formarse oligómeros como resultado del rompimiento del polímero, estas impurezas se difunden hacia la superficie de las películas o fibras recicladas de PET, afectando sus propiedades superficiales y por tanto la adhesión, por lo que pueden ocurrir frecuentemente problemas de impresión. Además de estos contaminantes derivados de oligómeros pueden propiciar una decoloración o amarillamiento en el reciclado.

## **Procesos de Separación, Lavado y Secado del PET.**

La hojuela granulada se puede separar por diferencia de densidades en un baño de agua, el PET se hunde debido a que su gravedad específica es mayor ( $1.30-1.36 \text{ g cm}^{-3}$ ) que la de otros componentes de las botellas como HDPE, PP, EVA que flotan.

En el reciclado de botellas de PET la remoción de papel, adhesivo e impurezas pueden removerse mediante aire y agua en el proceso de lavado. Los adhesivos residuales si no se remueven pueden darle un tinte oscuro al polímero, mientras que partículas de polvo, aluminio, o papel dan una apariencia manchada, esto debe tomarse en cuenta ya que el PET claro tiene mayor valor comercial.

La separación y lavado del PET se conoce como “proceso en húmedo” en el cual el plástico residual (con etiquetas y tapas) se muele pasando los gránulos por un separador de aire para eliminar los materiales ligeros (papel y polvo) pasando enseguida al lavado en donde se incluyen agitación y detergentes para eliminar los adhesivos e impurezas. El material restante entra a un tanque de flotación para separar los materiales por diferencia de densidades.

Cuando el lavado del PET incluye dos etapas, la primera es en caliente a  $80^{\circ}\text{C}$ , con 2% de NaOH y un detergente seguido por un lavado con agua fría y en la segunda etapa no deben quedar residuos cáusticos (NaOH) en el PET ya que pueden catalizar la hidrólisis del PET reduciendo la viscosidad intrínseca del polímero durante su procesado además de la formación de ácido carboxílico en los grupos terminales que pueden catalizar posteriormente la hidrólisis, lo que promovería un rápido rompimiento de cadena y un material con diferentes valores de viscosidad intrínseca.

El secado del PET es muy importante ya que la humedad residual provoca una degradación hidrolítica en las operaciones de fabricación como extrusión o termoformado donde se expone a temperaturas elevadas, por lo que deberá estar seco a menos de 200 ppm de agua. En ciertos casos las hojuelas, ya limpias, se pueden filtrar y paletizar en un equipo de extrusión precristalizándolas. La inversión promedio fluctúa dependiendo de la capacidad, para  $1,000 \text{ kg h}^{-1}$  el rango es de \$200,000 a \$300,000 dólares; si se requiere de  $500 \text{ kg h}^{-1}$  varia

entre \$100,000 a \$200,000; estas cantidades están en función de la configuración de los equipos (Rémezc, 2006).

### **Reprocesado del Fundido.**

Las hojuelas del PET se pueden reprocesar en gránulos por extrusión en fundido, debiendo tomar en cuenta que tanto el agua como las trazas de impurezas de los compuestos ácidos inducen a un proceso de rompimiento de cadena así como a una reducción del peso molecular de la resina reciclada, así por ejemplo, un PET virgen tiene un peso molecular de  $81,600 \text{ g mol}^{-1}$ , el reciclado 58,400, el PET virgen 80,100 y el reciclado inyectado 57,550.

Pero además de los cambios observados en el peso molecular, las propiedades físico mecánicas del PET también reportan cambios dependiendo tanto del número de ciclos como del contenido de material recuperado en una mezcla con material virgen, observándose una disminución en la resistencia al impacto y en la resistencia tensil al aumentar número de ciclos y el contenido de recuperado en la mezcla.

La reducción en el peso molecular del PET reprocesado se manifiesta por una caída en la viscosidad intrínseca (VI) debido a la degradación térmica e hidrolítica de las cadenas poliméricas, el PET de postconsumo de botellas generalmente tiene una VI en el rango de 0.68-0.72 comparada con 0.80 para el polímero virgen. El efecto de la reducción de la viscosidad intrínseca con el reprocesado generalmente es mayor para resinas cuyo valor inicial es mayor, por ejemplo, un polímero con una VI inicial de 1.05 puede perder 0.07 de VI mientras que un polímero con 0.5 generalmente pierde solo 0.03 unidades de viscosidad intrínseca. La reducción de la VI puede generar dificultades para la extrusión de la lámina debido que la resistencia al fundido ha sido sustancialmente reducido lo cual genera problemas en el estirado y en casos extremos el material puede “escurrir” fuera del dado con ligeras oscilaciones en la temperatura de fundido.

### **Reciclado Químico del PET.**

El reciclado químico de los polímeros residuales ha tenido gran atención en los últimos años debido al uso en gran escala de botellas y contenedores de PET, el reciclado químico involucra el procesado reactivo de un material plástico para obtener productos útiles de menor

peso molecular que pueden ser otros polímeros, oligómeros, o en el caso extremo, monómeros o compuestos químicos simples. Idealmente, los productos deberán tener un valor comercial que exceda el valor que implica la incineración de los plásticos residuales, para que realmente sea considerado rentable.

Se han propuesto diversos métodos de tratamiento químico para la depolimerización del PET, entre ellos principalmente la Hidrólisis, en la que se trata el PET con un exceso de agua a temperaturas elevadas de 150-250°C en presencia de acetato de sodio como catalizador; produciéndose ácido tereftálico y etileno glicol en 4 horas, éste método se encuentra en la etapa experimental en lo que al PET respecta ([http://www.navarini.com/pet\\_recycling\\_sp.htm](http://www.navarini.com/pet_recycling_sp.htm))

Otro método es la Metanólisis, en la cual el PET fundido se mezcla con el metanol y un catalizador calentándose de 160-240°C por menos de 1 hora a una presión de 20-70 atmósferas. Este proceso es más tolerante a los contaminantes que el proceso de glicolisis y se puede reciclar el PET verde y obtener PET reciclado incoloro grado-alimento.

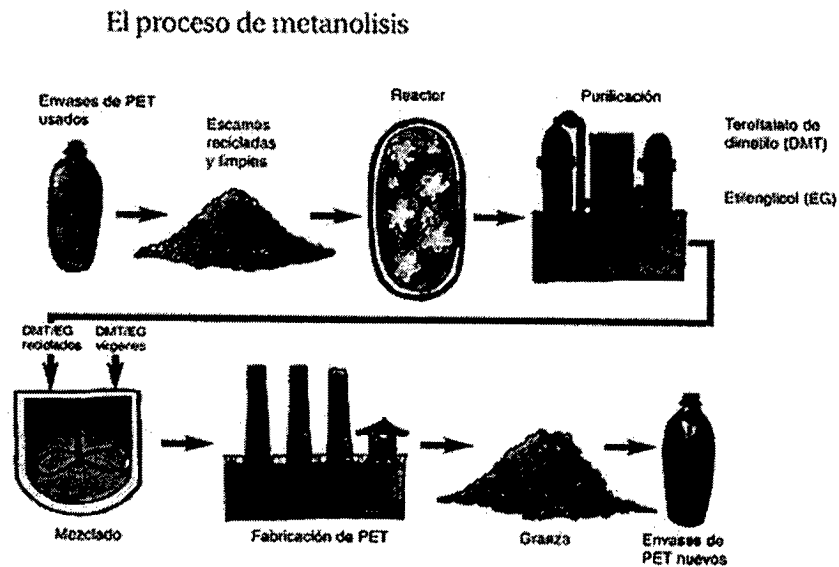
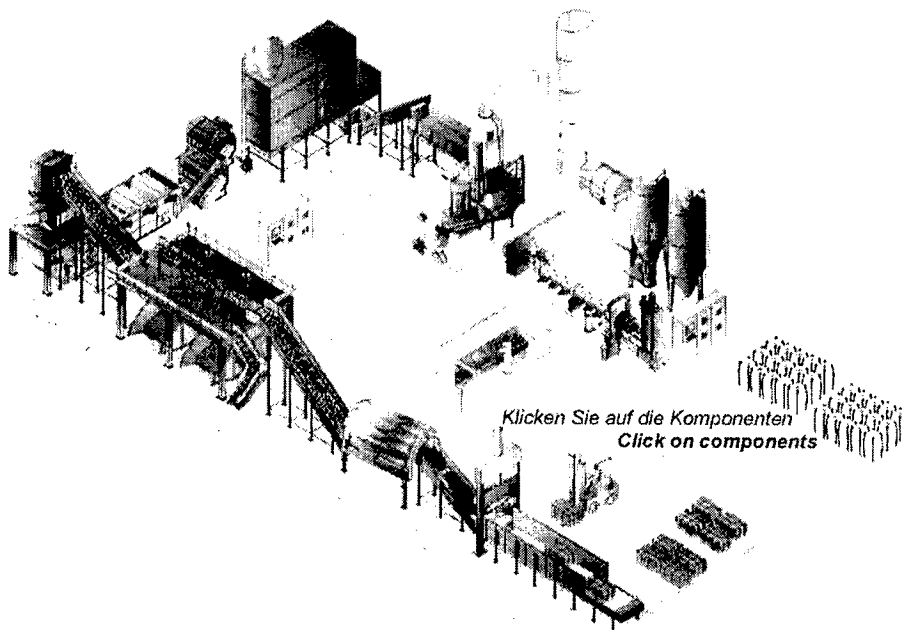


Figura 12. Ilustración del proceso de metanolisis del PET

El proceso de Glicólisis se utiliza tanto en el PET virgen como en el reciclado y son tratados con un exceso de glicol, dando lugar a una reacción de trans-esterificación. Generalmente la reacción de glicolisis se lleva a cabo en un periodo de 8 horas a 200 °C (temperatura de reflujo) con una relación de propilen glicol/PET de 1.5:1.0 la reacción se realiza bajo una purga continua de nitrógeno para inhibir la degradación de los polioles resultantes.

El proceso químico ofrece entre sus ventajas que es muy competitivo económicamente, no es necesario la selección o lavado previo, ni la eliminación de tapas, las botellas con estratificación de capas bloqueantes para oxígeno son tratados sin problemas, el ácido Terephtalico y Ethyleneglycol son vendibles directamente a la industria química o utilizadores especializados, alternativamente se puede producir un producto PHT (Polyhidroxilethilterephtalato) que puede ser utilizado directamente para la producción de botellas PET. Las plantas convencionales de reciclaje de PET pueden ser adaptadas para el proceso químico ([http://www.navarini.com/pet\\_recycling\\_sp.htm](http://www.navarini.com/pet_recycling_sp.htm))



**Figura 13. Planta completa de reciclaje de tercera generación**

Las ventajas del reciclado mecánico en comparación con el reciclado químico o depolimeración del PET son, entre otras que el reciclado mecánico es relativamente simple, utiliza equipo convencional, requiere baja inversión y presenta pocos aspectos adversos sobre impacto ambiental, sin embargo también presenta desventajas como la reducción de la viscosidad en fundido originada por la degradación térmica e hidrolítica, puede generar oligómeros cíclicos o lineales que afectan las propiedades del producto final tales como la habilidad para ser coloreado o ser impreso, adquiere una velocidad de cristalización más rápida debido al efecto contaminado de bajos pesos moleculares, partículas de polvo nucleares y al incremento de oligómeros cíclicos que actúan como nucleantes.

Sin embargo el mayor obstáculo en el reciclado del PET de postconsumo es el amarillamiento del polímero, debido a las reacciones de oxidación y entrecruzamiento intermolecular. El amarillamiento presenta gran problema en el PET reutilizado para la producción de botella.

### **Aplicaciones del PET Reciclado.**

Las aplicaciones del reciclado de los envases de PET generalmente han sido fibras para alfombras, relleno para chamarras o edredones y en la manufactura de artículos de empaque de materiales no alimenticios, aunque se han creado nuevos mercados para el PET reciclado con la reciente aprobación de la FDA para utilizar el material reciclado en contacto con alimentos en algunos casos como en las botellas para bebidas carbonatadas y en el empaque de frutas frescas y vegetales, sujeto a tiempos de contacto limitados y temperaturas de refrigeración. ([http://www.plastivida.com.ar/1\\_usos.htm](http://www.plastivida.com.ar/1_usos.htm)) (Figura 14).

El reciclado de PET por glicólisis permite producir polioles aromáticos que posteriormente pueden ser tratados con isocianatos o ácidos dibásicos insaturados para producir poliuretanos o poliéster. Las principales aplicaciones de los polioles obtenidos a partir de esta fuente son las espumas rígidas.

Una de las aplicaciones más comunes para lamina a partir de PET post-consumo fue en las bases para las botellas de PET para bebidas carbonatadas, aunque todas las aplicaciones de laminando requieren principalmente de PET reciclado incoloro, el uso de PET de post-



consumo en la forma de lamina espumada, para proporcionar aislamiento, se puede utilizar PET verde.



Figura 14. Aplicaciones del PET reciclado

El moldeo por inyección del PET, ya sea virgen o reciclado, no es sencillo porque presenta una tendencia a cristalizar aleatoriamente durante el moldeo de productos de pared más delgada haciendo que las partes moldeadas sean quebradizas, para cuya solución se han desarrollado compuestos a base de modificadores al impacto del PET.

## Reciclado del Polietileno.

Los polietilenos pertenecen a la familia de las poliolefinas que son producidas por la polimerización de pequeñas moléculas llamadas alfa-olefinas (hidrocarburos alifáticos insaturados que poseen un doble enlace) como el etileno ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) y propileno ( $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Las propiedades físicas y mecánicas así como las características de procesado dependen del peso molecular y su distribución, del número y longitud de ramificaciones, influyendo las condiciones de polimerización, catalizadores e iniciadores, tipos de monómero, etc. En el caso del polietileno, se han clasificado varios tipos de resinas de acuerdo a su densidad: Baja densidad (LDPE) con una densidad de  $0.910\text{-}0.925 \text{ gr cm}^{-3}$ , media densidad (MDPE) con  $0.926\text{-}0.94$  y alta densidad (HDPE) con  $0.941 \text{ g cm}^{-3}$ .

Los polietilenos son parcialmente cristalinos, esto depende de las ramificaciones de las cadenas y determina la densidad del material. Los polietilenos de una mezcla de macromoléculas de varias longitudes y por lo tanto diferentes peso molares. Sus propiedades físicas y su facilidad de procesado están gobernadas por el peso molecular y la distribución de pesos moleculares. Conforme incrementa el peso molecular (sin cambio en la densidad, también aumentarán tanto el impacto y la resistencia al “stress cracking”. Así mismo los productos con una distribución angosta y una fracción molecular baja, pequeña, son mas resistentes al impacto y al stress cracking, mientras que aquellos productos con una distribución mas ancha son más fáciles de procesar y estirar.

Para reciclar polietileno se deberán distinguir los productos de larga y de corta duración, los primeros incluyen tuberías, tanques para combustible de vehículos, etc. Mientras que los segundos son principalmente productos para empaque como película y contenedores por moldeo por soplado. En productos durables de polietileno, la calidad y los efectos de la degradación juegan un papel mas importante que en productos no durables, en los cuales el tipo de polímero, la contaminación y el olor inherente son mas críticos, ya que tienen distintas propiedades según sea el producto fabricado, así por ejemplo, para HDPE los usos más frecuentes son recipientes para detergentes, aceites de motor, contenedores medianos, tuberías aislantes, juguetes y cubos, mientras que el LDPE se utiliza fundamentalmente para

empaquetar comida, bolsas para basura, pañales desechables, rollos de película fina para envolturas sellables (stretch film) y bolsas de limpieza (Peña, sin fecha)

### **Reciclado de Polietileno de Corta Duración.**

Para que el polietileno pueda ser reciclado eficientemente debe haber sido separado de acuerdo a su estructura correspondiente, por su aplicación y método de procesado original ya que el procesado y las propiedades mecánicas de polietileno reciclado proveniente de diferentes grados de polietilenos reflejan las condiciones de los constituyentes originales.

Los sistemas de recolección son diseñados para ser retornados como plásticos residuales heterogéneos, es decir como una mezcla de PP, PE, PS, PVC, etc., todo esto con diversos sistemas de separación, por lo que el polietileno no puede ser separado limpiamente de las mezclas, ya que siempre contendrá polipropileno debido a la similitud de densidades.

La influencia del PP en el PE no tiene mayor efecto en las propiedades mecánicas o en el procesado del material reciclado, sin embargo el material se ve seriamente afectado por el olor repercutiendo posteriormente durante el procesamiento en moldeo por soplado. Acciones simples como secado y granulado del material reciclado y aun más desgasificado en el fundido del material no permiten lograr una mejora sustantiva con el olor del material. El mezclar con material puede ayudar un poco a contrarrestar el impacto de estos efectos.

### **Reciclado de Polietileno de Larga Duración.**

Los mismos factores que afectan a los de corta duración también afectan a los de larga duración, sin embargo como éstos tienen un servicio de vida útil mayor, las expectativas de calidad de reciclabilidad tienen que ser menores ya que prestaron una larga vida de servicio (como las tuberías), debe tomarse en cuenta para su reciclado, considerándose un riesgo de degradación durante el servicio y la pérdida de las propiedades mecánicas. También debe asegurarse que el material a reciclarse es de un solo tipo de polímero y un solo grado. Generalmente los materiales de polietileno para diferentes aplicaciones tales como productos de gran tamaño y película pueden ser usados para áreas de aplicación específica tales como tubería. Pero un material utilizado en una aplicación desconocida no puede ser ampliamente como en uno conocido, así por ejemplo, la película de polietileno y productos grandes

soplados pueden ser extruidos para tubería, pero no se cumplirá totalmente con los requisitos impuestos para el material para tubería.([www.plasticosmexicanos.com.mx](http://www.plasticosmexicanos.com.mx))

### **Reciclado de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)**

El HDPE se produce haciendo uso de catalizadores, siendo el polímero resultante más lineal y cristalino que el LDPE. El HDPE es reciclado generalmente por medio de la granulación, obteniéndose escamas, los contaminantes se eliminan por lavado y las escamas se separan de otros plásticos por medio de la flotación (Hannequart, 2004)

Al reciclar el HDPE debemos considerar que es menos sensible a la oxidación en comparación con el PP, por lo que generalmente se utilizan cantidades menores de antioxidantes. El HDPE obtenido mediante el proceso de Ziegler-Natta muestra un aumento en el índice de fluidez al someterse al reprocesado a temperaturas entre 180-280°C, mientras que en el obtenido por el proceso Phillips predomina el entrecruzamiento de cadenas, resultando una disminución en el índice de fluidez al degradarse este polímero (Méndez, 2007)

El reciclado de post consumo de HDPE es recomendable para soplado de envases en PE de una-dos o tres capas y para extrusión (perfiles, tubos sin presión, redes, planchas) y termoformado. Se utiliza también para inyección y películas, sólo si está mezclado con PE virgen. El CiPiTENE es un material reciclado de HDPE con a una selección cuidadosa, lleva un bajo contenido de PP, lo cual es muy importante en los productos expuestos al frío o sujetos a soldadura. El CiPiTENE es carente de impurezas porque está filtrado con filtros de 100 micrones, además es homogéneo y constante en el tiempo. Entre sus propiedades cuenta con un índice de fluidez de Índice de Fluidez (M.F.I.) 0,3 g/10' à 190 °C/2,16 Kg (ASTM D1238). La densidad es 0,95. Tiene un color verde claro pero puede ser fácilmente colorado en colores más sombríos con masterbatch usado por el Cliente. Durante la extrusión con calor huele ligeramente a detergente pero los productos, una vez fríos, no huelen ([http://www.centroplastica.it/5%20Buenas%20Razones\\_file.htm](http://www.centroplastica.it/5%20Buenas%20Razones_file.htm)).

El polietileno de alta densidad alto peso molecular (HMW-HDPE), con pesos moleculares de hasta un millón o mas ha ganado importancia durante los últimos años, estos pesos moleculares requieren de temperaturas de procesado entre 220 y 280 °C y tiempos de residencia más largos, por lo que es importante una buena densidad durante el procesado, ya

que un ligero entrecruzamiento o una degradación ligera de las cadenas es suficiente, para interferir con una manufactura de artículos perfectos, por lo que se recomiendan combinaciones de antioxidantes fenólicos con fosfitos, los cuales juegan un papel importante en la estabilización, estas combinaciones representan prácticamente la única posibilidad para alcanzar una aceptable estabilidad de polímero fundido (Méndez, 2007)

Las concentraciones de estabilizadores usadas en HMW-HDPE varían entre 0.15 y 0.25%, lo cual es mas alto que para un HDPE normal. La estabilidad térmica de larga duración del HDPE es una propiedad importante que puede evaluarse mediante el envejecimiento térmico en la estufa (120 °C) y determinando la fragilidad.

La principal fuente de HDPE para reciclado son las botellas de leche y jugos teniendo la ventaja de que no están pigmentadas y son menos complejas que las utilizadas para refrescos las cuales requieren mayores labores de limpieza por lo que son las más apropiadas para el reciclado. Las ventajas del reciclado de botes de leche y jugos de HDPE se deben a que son fáciles de identificar y hay abundante suministro, el producto reciclado resultante tiene un índice de fluidez (NWI) consistente ya que la resina para contenedores de lácteos se especifica para soplado, se pueden obtener productos limpios y en color natural, posteriormente el material reciclado tendrá propiedades reológicas muy similares a las de la resina virgen, puesto que ha sufrido una mínima degradación térmica, poco apreciable durante el reciclado (Méndez, 2007).

Pero también existen barreras que limitan su aplicación en el reciclado, por ejemplo presentan un valor fraccional de MFI (0.6 g/10 min) ya que han sido diseñadas para el proceso de soplado de botes para jugo o leche, debido a su alto peso molecular no generan tiempos de ciclo económicos durante el proceso de inyección, además este tipo de resinas no poseen la adecuada resistencia al ataque ambiental, propiedad clave para los materiales reciclados en contenedores de blanqueadores o detergentes, presentan una variación ocasional en el color debido a las botellas y tapas de shampoo, lo cual es inapropiado para aplicaciones que son ligeramente pigmentadas. También se ha encontrado que productos inyectados de mezclas de HDPE reciclado proveniente de botellas de leche presentan mayor contracción que los productos moldeados de resina para inyección.

El desperdicio de artículos moldeados por inyección incluyendo contenedores industriales, cajas, envases de lácteos, envases de nieve, bases para botellas, latas de pintura, etc., es muy diverso en comparación con los residuos de PET, por lo que su recolección es un gran reto. El alto precio de la resina virgen representan un incentivo para aumentar la cantidad de HDPE reciclado, que resulta muy atractivo para aplicaciones no alimenticias. Por otro lado el bajo precio para botellas no reprocesadas puede proporcionar un margen atractivo de ganancias para los recicladores (Méndez, 2007)

### **Contaminación de PP en HDPE**

Como estos materiales tienen gravedad específica similar, casi que son inseparables mediante técnicas comunes de separación física, aunque existen métodos sofisticados como la espectroscopía.

Los problemas se incrementan durante el fundido de las resinas debido a su incompatibilidad, presentando defectos típicos como fragmentos de PP sin fundir en perfiles y fractura del fundido en película extruída. La adición de pequeños porcentajes de PP a HDPE reduce la resistencia al impacto a baja temperatura.

### **Contaminación de PET en HDPE**

Debido a que el PET no se funde a temperaturas normales de procesado del HDPE no se funde puede formar rápidamente un tapón en los canales y en el orificio de inyección de la máquina.

### **Contaminación de Celulosa en HDPE**

Los botes de refresco y leche de HDPE y PET tienen etiquetas de papel que generalmente son removidas durante la etapa de lavado en el proceso de reciclado. Sin embargo, se ha encontrado que la fibra de celulosa provoca orificios y defectos superficiales durante el reprocesado en moldeo por soplado.

### **Contaminación por el Contenido de los Empaques.**

Las botellas de HDPE son contaminadas por la migración de sus contenidos al interior del polímero o por residuos difíciles de remover por los métodos convencionales de limpieza,

incrementándose este problema por la aplicación secundaria de los contenedores plásticos al almacenar diversas sustancias químicas o solventes.

Se ha encontrado que en contenedores de detergentes, blanqueadores, y aceites lubricantes, los contaminantes se absorbieron al interior de las paredes de los botes y no fueron removidos durante la etapa de lavado, por ejemplo, los principales contaminantes presentes en los pellets reciclados fueron 0.7% en peso de hidrocarburos de aceite y entre 100-500 ppm de cloro de blanqueadores. Como una de las consecuencias del reprocesado, el aceite puede impartir olores desagradables al producto reciclado. La contaminación por aceite puede ser un problema aun a niveles bajos para el espectro de detección de instrumentos analíticos sensibles como cromatografía de gas (Méndez, 2007)

Estudios recientes muestran que mientras el HDPE es fácilmente contaminado por los líquidos contenidos, el PET es menos afectado, lo que puede ser atribuido, en parte a la naturaleza olefinica del HDPE y su susceptibilidad al rompimiento por causas ambientales. Además la alta temperatura de procesado del PET conduce a que cualquier contaminación presente se descomponga durante el reprocesado, mientras que el HDPE es reprocesado a temperaturas considerablemente bajas por lo que muchos compuestos tóxicos “sobreviven” al tratamiento térmico.

#### **Contaminación por geles.**

El reciclado de HDPE de botes de leche por extrusión del fundido puede conducir a un entrecruzamiento durante la etapa de reprocesamiento térmico, ya que el antioxidante adicionado inicialmente durante la manufactura del polímero ha sido consumido. Regiones entrecruzadas conocidas como geles, pueden actuar como una concentración de esfuerzos en el procesado de película y presentar burbujas en botes a partir de HDPE reciclado.

#### **Contaminación por Polímeros Degradados.**

Las manchas negras son una fuente común de contaminación en el reciclado de HDPE como en la resina virgen, son pequeñas áreas de polímeros altamente degradados que han sido carbonizados debido al tiempo de resistencia excesivo en el extrusor y ocurren en regiones de bajo flujo en el extrusor donde se forman declives. También puede aparecer como color

amarillo, café o ámbar, dependiendo de la extensión de la degradación. Bajo observación microscópica, un gradiente de color puede ser indicativo evidente que el lado oscurecido ha estado en contacto directo con la pared del barril del extrusor. Las manchas negras causan mayores problemas en el método por soplado de botellas blancas o color natural, siendo estéticamente indeseables.

### **Polietileno de Baja Densidad (LDPE).**

El polietileno de baja densidad se produce mediante la polimerización del etileno bajo condiciones de presión y temperatura elevadas, no es ampliamente reciclado, siendo el principal producto reciclable la película extensible para envoltura (Hannequart, 2004)

El LDPE es un material muy utilizado en la fabricación de películas y procesado a temperaturas entre 150-200 °C sufre degradación termo-oxidativa dando lugar al entrecruzamiento de las cadenas manifestado principalmente por la formación de geles. La película para empaque y bolsa de supermercado generalmente contienen lubricantes de compuestos de amidas que pueden ser oxidadas durante el reprocesado térmico, al descomponerse los lubricantes dan lugar a una serie de aldehídos que tienen muy bajo nivel de olor, impartiendo al reciclado un olor rancio que puede restringir las aplicaciones potenciales.

Se manejan desechos industriales y callejeros para el reciclaje, los industriales son casi limpios, se consiguen en grandes cantidades, no necesitan el prelavado. Los desechos callejeros son de bolsas o plásticos que se recogen de la calle y son más económicos que los industriales (Chamorro, sin fecha)

### **Contaminación por Modificación Química**

El envejecimiento ambiental y la oxidación de los polímeros pueden inducir a una modificación química de la estructura del polímero y la producción de especies oxigenadas que son impurezas que pueden causar sensibilización del polímero hacia una posterior foto-oxidación. Las impurezas más destructivas generadas en muchos polímeros son los grupos hidroperóxidos, por ser térmicamente inestables pueden fácilmente romperse iniciando una reacción en cadena. Los grupos carbonilo que son producto de oxidación y pueden actuar



como cromóforos en la foto-oxidación. Por ejemplo, las películas para invernadero, generalmente base LDPE, son frecuentemente recicladas. Estas películas están usualmente poco degradadas por la acción de la luz UV y son utilizadas para la manufactura de películas con menores requerimientos de aplicación ya que comúnmente tienen baja resistencia mecánica y baja estabilidad intrínseca.

### **Contaminación por Metales.**

Esta contaminación puede ser originada por los mismos equipos de procesado (fragmentos o rebabas de metal de los extrusores, molinos, adaptadores de aluminio, etc.) pequeños fragmentos metálicos pueden bloquear la boquillas de inyección en las máquinas de moldeo dañando la boquillas y originando defectos de los productos moldeados, además los iones ferrosos y férricos debido a su naturaleza multivalente actúan como un catalizador de la oxidación.

Los pigmentos (café, gris y naranja) utilizados en productos moldeados y en bolsas de polietileno se basan en óxidos metálicos (óxidos e hidratos de hierro) poco costosos, los cuales actúan como agentes pro-oxidantes a altas temperaturas (220 °C) y son encontrados durante el procesado del HDPE (Méndez, 2007)

### **Aplicaciones para el LDPE y HDPE Reciclado.**

Del reciclado de películas para empaque y embalaje se obtienen películas para la construcción (como protección contra la humedad), bolsas para basura y película para usos agrícolas

Actualmente el PE reciclado es muy solicitado por los transformadores de artículos para el hogar (macetas, tinas, platos, cubetas) y de juguetes “baratos” (los típicos de las piñatas), los cuales no demandan amplias propiedades y el color no es importante. También se hacen algunas botellas para productos de limpieza de marcas locales y tablas prensadas como sustituto de madera (Márquez y Conde, 2007)

El mercado para el HDPE reciclado de botes de leche y jugo se limita a aplicaciones en productos soplados o extruidos como botes de aceite automotriz, bolsas de mercado, tubería de drenaje, botes coextruidos con una capa interna de reciclado, contenedores domésticos,

costales para basura, los maderajes de plástico, cubos, jaulas de embalaje, tubos, muebles y películas. Aunque puede ser utilizado en inyección, su alto peso puede conducir a una presión de inyección muy alta a la excesiva orientación.

US Plastic Lumber Co. En la que se fabrican maderajes de plástico estructural y no estructural, obteniéndose productos con un mercado estimado de 10 mil millones de dólares anuales en Estados Unidos. En Melbourne, Australia, Visy Recycling trabaja con fabricantes de tubo para producir un tubo de HDPE modificado para trabajar a baja presión para productos lácteos (Hannequart, 2004)

### **Mezclas de Polietilenos.**

Para satisfacer el desempeño mecánico y los requerimientos de moldeo para productos domésticos de gran tamaño se han investigado mezclas de PE virgen y reciclado, las cuales no deben tener una reducción significativa en las propiedades de impacto o resistencia tensil y deberá contener la cantidad máxima de reciclado, su viscosidad no deberá ser mayor que la del material virgen sustituido o el llenado del molde puede ser un problema. Un modificador adecuado puede ser un polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) con un índice de fluidez de 20, el cual es utilizado para mejorar el flujo de materiales recuperados haciendo un procesado más fácil. Una mezcla de 50:50 de LLDPE y material recuperado dará las características de flujo adecuadas para lograr tiempos de ciclos económicos el moldeo por inyección de partes grandes.

### **Reciclado del PVC.**

Este es uno de los polímeros sintéticos más antiguos que continúa utilizándose principalmente en la industria de la construcción, además de ser muy versátil ya que se puede formular de diversas maneras como plastisoles, en forma rígida o flexible lo cual permite que se pueda utilizar en diferentes aplicaciones como en la producción de tubería la cual en algunos casos se realiza con PVC recuperado de materiales de empaque como botellas y laminas termo formadas. Como es muy inestable a altas temperaturas, es necesario utilizar

estabilizadores térmicos para facilitar su procesabilidad en conjunto con lubricantes externos e internos.

El reciclado de productos fuera de especificaciones durante el procesado ha sido práctica común en la industria del PVC y generalmente va acompañado por la molienda o pulverizado de los productos de PVC y el reprocesado en los productos originales. Las principales barreras para el reciclado del PVC son la contaminación, inestabilidad térmica, la naturaleza del multicomponente de las aplicaciones del PVC, así como los bajos volúmenes de colección de los artículos de post-consumo.

El reciclaje del PVC no está tan extendido como el de otros polímeros debido en parte a que la mayoría de las aplicaciones son de larga vida útil, éste material puede ser reciclado por trituración o por reciclado químico para la recuperación del cloro (que puede utilizarse luego en la producción de monómero).

Francia tiene programas con sistemas de recogida mediante contenedores urbanos y sistemas de depósito, el GECOM es un grupo financiado por la industria y utiliza el material para la fabricación de tubos, suelas de zapato y muebles de jardín. En Alemania desde 1990 se reciclan los recubrimientos para suelo de PVC usados transformándolos en recubrimientos nuevos para el mismo uso, es una empresa con participación conjunta entre productores europeos de PVC y fabricantes de recubrimientos para suelos. Solvay (firma Belga) instaló la primera planta comercial en Ferrara, Italia con el desarrollo de la tecnología Vinyloop, que se basa en la disolución selectiva del PVC que permite separar y recuperar el compuesto de pVC de los residuos plásticos que contienen una proporción significativa de otros polímeros, la planta tiene una capacidad para el tratamiento de 10,000 Tm/año de residuos de cables eléctricos (Hannequart, 2004)

En Dinamarca, la empresa de gestión de residuos RGS90 tiene instalaciones de reciclaje a materia prima para residuos de PVC, donde se tratarán productos residuales mezclados de PVC procedentes principalmente del sector de la construcción con una capacidad de 40,000 Tm. En América ARCOA transforma el PVC reciclado en arrecifes artificiales que pueden ser colocados en aguas costeras para crear un hábitat para los peces. NV Ekol en Bélgica, utiliza el PVC reciclado con otros plásticos para fabricar productos

como barreras para la reducción de ruido, vallas, estacas, jardineras y muebles de jardín, así como islas móviles (Hannequart, 2004)

### **Contaminación**

Como las botellas de PVC no se identifican tan fáciles como las botellas PET (refresco) o las de leche (HDPE), los volúmenes de colección de postconsumo son bajos. Las botellas de PVC están disponibles en un amplio rango de estilos y capacidades ya que pueden ser claras, opacas o contar con brillo, aunque muchas botellas claras pueden ser de PET modificado con glicol (PETG), policarbonato resina “k” (copolímero de estirenobutadieno) y confundirse con las de PVC. Rhovyl fabricante de ropa francés y Elf Atochem desarrollaron un programa de reciclaje de botellas de PVC para transformarlas en diferentes prendas de vestir y produjeron jerseys, bufandas y calcetines a partir de un 30% de lana y un 70% de botellas de agua mineral (Hannequart, 2004)

Aproximadamente el 65% del consumo de PVC se destina a productos cuya vida útil supera los 50 años, por ejemplo, tubos y conexiones, cables, perfiles, etc., ya que este material resiste bien el envejecimiento y la intemperie (<http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc/reciclado>)

### **Inestabilidad Térmica del PVC**

Este es otro de los problemas que enfrenta el reciclado del PVC, y puede hacer que su proceso sea tan fácil o difícil dependiendo de la rapidez de las cinéticas de degradación que permiten que las operaciones repetitivas de reciclado no originen cambios significativos en la estructura y en la morfología del PVC. El problema fundamental de la degradación del PVC consiste en la dehidroclorinación progresiva causante del entrecruzamiento sucesivo del material residual, si la pérdida del HCl se retarda, la estructura del PVC no se vera afectada y no habrá repercusiones en las propiedades finales del material. Para solucionar este problema puede llevarse a cabo bajas temperaturas de procesado, así como tiempos cortos de procesado y la adición de estabilizadores para que absorban el ácido clorhídrico, inhibiendo su acción catalítica.

### **Naturaleza de los Multicomponentes en las Aplicaciones del PVC.**

Entre las aplicaciones del PVC, cuando se utiliza como aislamiento de cable, tapicería de vinil, etc. se forman con una combinación de PVC con otros polímeros y muchas de estas combinaciones requieren de equipo sofisticado de separación (molienda criogénica, hidrociclones, tablas de gravedad, clasificadores de aire y la filtración del fundido) para poder lograr la recuperación del PVC con la pureza necesaria para poder moldearlo de nuevo.

### **Reducción de Tamaño.**

La molienda del PVC rígido a temperatura ambiente genera elevadas cantidades de finos en comparación con otros polímeros (HDPE o PET) lo que sirve para facilitar la separación entre el PVC y PET. La molienda criogénica (utiliza nitrógeno líquido para endurecer el polímero antes de molerlo) es para el PVC ya que permite obtener partículas con uniformidad mejorada con respecto a la molienda mecánica, además de que ofrece un ahorro sustancial de energía con respecto a la molienda a temperatura ambiente, asimismo evita la degradación térmica del PVC ya no es expuesto a una historia térmica extra, reduciendo la incidencia de fallas en el motor del granulador por sobrecarga.

Los métodos de molienda criogénica han sido especialmente desarrollados para artículos multicomponentes (cables de aislamiento) de PVC, el cable granulado es alimentado en un túnel criogénico que contiene un husillo helicoidal que sirve para transferir el polímero a través del nitrógeno líquido a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , conforme avanza el polímero, este se enfría por debajo de la temperatura de congelamiento y se muele finamente pasando posteriormente sobre un separador de corona electrostática para separar el cobre del PVC. En Australia, las botellas de PVC y las cubiertas de cables se molturan finamente mediante una técnica criogénica, empleando la resina reciclada para la fabricación de accesorios para tubería (Hannequart, 2004).

### **Filtración del Fundido.**

Este proceso es sencillo en el caso de polímeros virgen de alta pureza comercial, pero en el caso del PVC reciclado se presentan cambios debido al alto nivel de contaminación presente, siendo éste el factor que determine la pureza lograda por este método. La filtración

se lleva a cabo antes del dado donde el fundido esta bien plastificado y los contaminantes no fundidos como metales, papeles, fibras y algunos polímeros como el PET, son removidos por una fina malla que determinará la calidad del polímero filtrado. Cuando existe una mayor concentración de contaminantes en el polímero provocará el bloqueo de la malla del filtro.

Las propiedades mecánicas del PVC reciclado dependen del nivel de los contaminantes que no se adhieren al PVC y que actúan como una concentración de esfuerzos iniciando la falla en el PVC cuando es sometido a esfuerzos mecánicos. Debido a la sensibilidad a la temperatura y a las pobres propiedades de flujo principalmente en el PVC rígido, la caída de presión mínima, los cambiadores de malla sin fluctuaciones de presión, las líneas de flujo reologicamente optimizadas y tiempo de residencia corto del fundido son factores importantes en la filtración del fundido del PVC.

### **Técnicas de Separación**

Debido a la similitud de densidades entre materiales como el PVC y PET los métodos de separación como la flotación no son recomendables por lo que se utilizan diversos métodos automáticos como la luz polarizada y el punto de reblandecimiento. La primera es una técnica óptica basada en la luz polarizada para detectar las diferencias en la cristalinidad del PVC y el PET que tiende a brillar bajo la luz polarizada mientras que el PVC es transparente.

Los polímeros también pueden ser separados en base de la diferencia de sus temperaturas de reblandecimiento, preferentemente cuando esta diferencia es significativa. Por ejemplo el PVC y el PET difieren en 60°C.

El separador de lecho caliente es un método físico para separar hojuelas de PVC de las de PET, basándose en la diferencia del comportamiento en fundido ya que el PVC reblandecido se adhiere al lecho caliente mientras que el PET no, cayendo por gravedad separándose así del PVC.

### **Tipos de Reciclaje del PVC**

El reciclado mecánico es el sistema más utilizado. Tenemos que considerar dos tipos de PVC, o sea, el procedente del proceso industrial o scrap (realizado desde las materias primas del material) y el procedente de los residuos sólidos urbanos (RSU). En ambos casos

los residuos son seleccionados, molidos, readitivados de ser necesario, y transformados en nuevos productos. Lo que diferencia los dos tipos son las etapas necesarias hasta la obtención del producto reciclado como, por ejemplo, la necesidad de limpieza de los residuos que provienen del pos-consumo antes de su transformación.

El PVC recuperado y reciclado es empleado en la fabricación de innumerables productos, como tubos diversos, perfiles de ventanas, capa interior de mangueras, laminados, artículos de inyección, como cuerpos huecos, cepillos, escobas, revestimientos de paredes, suelas de calzados, artículos para la industria automotriz, muebles para uso al aire libre, recubrimientos para suelos, faldones guardabarros, indumentaria y esteras. En el reciclaje químico los residuos de PVC son sometidos a procesos químicos, bajo temperatura y presión para descomponerlos en productos más elementales como aceites y gases. Actualmente este proceso es aplicado sólo en países desarrollados como Alemania y Japón.

El reciclaje energético consiste en la incineración controlada de los residuos, bajo condiciones técnicamente avanzadas, para la recuperación de la energía contenida en el material. Esta tecnología es aplicada en toda Europa, EUA y Asia, pero poco utilizada en América del Sur (<http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc/reciclado>)

### **Desechos Plásticos Agrícolas**

El desarrollo de la agricultura se inició en aquellas áreas donde existían las condiciones óptimas de clima, disponibilidad de agua y suelo; sin embargo, la innovación e investigación tecnológica, en la que la aportación de los materiales plásticos ha tenido bastante incidencia, ha contribuido a un tipo de cultivos donde los factores antes mencionados no limitan la producción, convirtiendo tierras y zonas, aparentemente improductivas, en modernísimas explotaciones agrícolas (Cimadevila y Morales, 1998).

En un principio, los recursos naturales (la tierra y el agua) eran los únicos materiales utilizados, con pequeñas transformaciones que no alteraban la sencillez del cultivo, los desechos eran mínimos, la utilización de cañas (para setos cortavientos y soporte de cultivos),

los cordeles y otros productos orgánicos como el estiércol, minimizaban el impacto sobre el entorno de las explotaciones agrícolas. Los residuos vegetales de las cosechas eran utilizados como alimento para el ganado, generando pocas dificultades al no acumularse en grandes concentraciones y estar las explotaciones agrícolas muy dispersas.

Paulatinamente, se fueron introduciendo los abonos químicos, así como los productos fitosanitarios (para combatir plagas), etc., siendo las calidades y cantidades incontroladas y arbitrarias en su uso, con lo que aparecían residuos en frutos, tierras, y en los mismos agricultores. Actualmente existe un mayor asesoramiento técnico al agricultor, con una sensible mejora de la información educativo-sanitaria, así como una mejor aplicación de los pesticidas. Sin embargo, el problema se disparó al consolidarse el cultivo bajo plástico, ya que se produce un salto cualitativo, con un aumento espectacular de producción por hectárea, buenos precios de comercialización, pero como consecuencia, también aumenta el consumo de unos materiales para los cuales ni el agricultor, ni los fabricantes, habían previsto que hacer al finalizar su período de utilización (López y Salinas, 1998).

La utilización de plásticos en la agricultura ha contribuido a mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales, llegando incluso a convertir tierras pobres o aparentemente poco rentables en explotaciones extraordinariamente productivas. Los plásticos son imprescindibles para la creación de cubiertas en invernaderos y túneles de diversos tamaños, para la formación de acolchados y para el control de plagas y enfermedades. Es también un material fundamental para la creación de mallas, redes y otros elementos de protección para el jardín o el huerto, y una materia prioritaria en la fabricación de los componentes de algunos sistemas de riego. Según su aplicación pueden ser densos, espesos, poco pesados y muy resistentes a las inclemencias climatológicas. Su función es proteger el cultivo del frío, del calor y de otros agentes externos, al tiempo que permiten el paso de la radiación emitida por el sol, proporcionando a la explotación el calor necesario para que se desarrolle de forma óptima.

Cada aplicación necesita un tipo de plástico concreto, con distintos compuestos y diferentes valores de espesor, densidad, resistencia o transparencia, en virtud de la función que vaya a cumplir en la agricultura. Cada producto presenta las condiciones y características precisas para cubrir las necesidades requeridas, e incluso, en casos similares, como el



invernadero y el túnel, los plásticos son distintos, pues el túnel requiere un film de menor espeso que el del invernadero (Repsol, 2007).

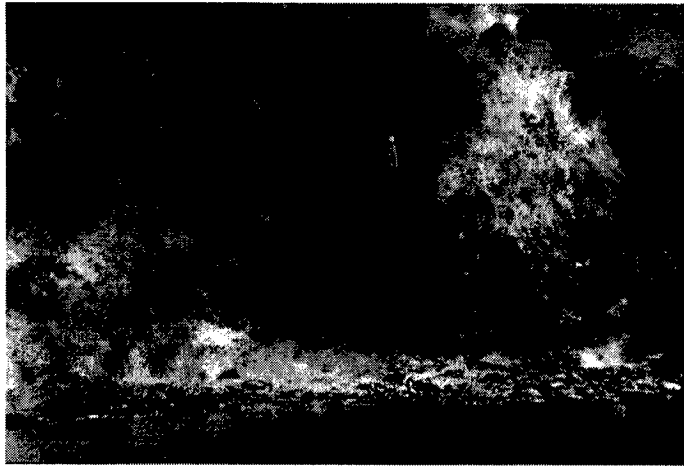
Una vez finalizada la vida útil de los plásticos utilizados en la agricultura, se convierten en residuos que son necesarios recuperar, ya que su envío a vertedero significa una pérdida de recursos valiosos. Una gran parte del residuo procedente del acolchado y túneles conserva aún buenas propiedades, por lo que puede reciclarse mecánicamente; existen instalaciones donde ya se está recuperando, aunque su reciclado es complicado. En cambio los residuos de películas de larga duración, procedentes de cubiertas de invernaderos han soportado una mayor radiación solar, por lo que están más degradados haciendo difícil su reciclado mecánico, por lo que es necesario optar por otros sistemas de valorización (<http://www.cepla.com/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2796&refcompra=NULO>).

Al comparar la agricultura tradicional contra la tecnificada (plasticultura) en cuanto a generación de desechos se refiere, tenemos que la agricultura tradicional, apenas si genera residuos, el volumen de estos es escaso y prácticamente todo se reutiliza, en cambio con la utilización de la plasticultura el problema de los residuos ha alcanzado una magnitud semejante a la expansión de los cultivos, generando no solo residuos plásticos, sino que obtenemos residuos sólidos y líquidos, residuos vegetales, plásticos, alambres, envases, etc., (López y Salinas, 1998).

Tradicionalmente los residuos agrícolas se tiraban a un lado del campo o a las puertas del invernadero, o si molestaban mucho se llevaban al descampado cercano y cuando el volumen alcanzaba unas ciertas dimensiones se le prendía fuego para disminuirlo y que el viento se encargaba de repartirlo por toda la zona, siendo esto una protesta tanto de vecinos como de ecologistas.

Durante años la quema de plásticos fue la solución, pero en la actualidad no solo es la contaminación por residuos plásticos agrícolas, sino también la de otros productos residuales como la de los envases de pesticidas y otros productos agrícolas, además con el espectacular incremento de la producción debido al uso de la tecnología, supuso a la vez el consiguiente incremento de los residuos vegetales haciéndose evidente la necesidad de realizar planes globales para solucionar el problema. Para poder tener una solución a este problema se debe

conocer un poco más a detalle los tipos de residuos que generan la agricultura y su posible reciclaje.



**Figura 15. Panorámica de una quema de plásticos agrícolas**

### **Residuos Vegetales**

También considerados como residuos orgánicos, son de gran volumen y se componen de tallos, raíces, frutos, hojas, maleza, etc., dependiendo del cultivo será la cantidad de residuos vegetales generados. También se incluyen aquellos productos que no son útiles para su venta y que acaban siendo tratados como residuos (Escobar, 1998).

Los residuos orgánicos, se producen en forma discontinua a lo largo del año, dependiendo de la época de cosecha de los distintos productos. Cuando tienen gran cantidad de humedad, reducen su volumen rápidamente dependiendo de las temperaturas alcanzadas en la zona, pero tienen el inconveniente de que suelen ir contaminados a consecuencia de los tratamientos fitosanitarios que se realizan en el cultivo. Al amontonarse, los que se sitúan más superficialmente se secan, pero con la elevada humedad y temperatura, los que no están en contacto con el aire se pudren rápidamente, por lo que estos montones se transforman rápidamente en un foco de plagas o de insectos vectores de estas, que pueden propagarse por los cultivos cercanos. A esto contribuye en muchas ocasiones el elevado contenido de azúcar

de algunos productos.

En México actualmente estos residuos se tiran en los basureros municipales, lo que hace que sean difícilmente manejables aunque su volumen se reduzca con rapidez. Un manejo más adecuado sería la fabricación de compost, aunque tratar todo el volumen de residuos orgánicos de la misma manera, plantea problemas ya que son residuos de distinto tipo, aunque el compostaje es una solución aceptable.

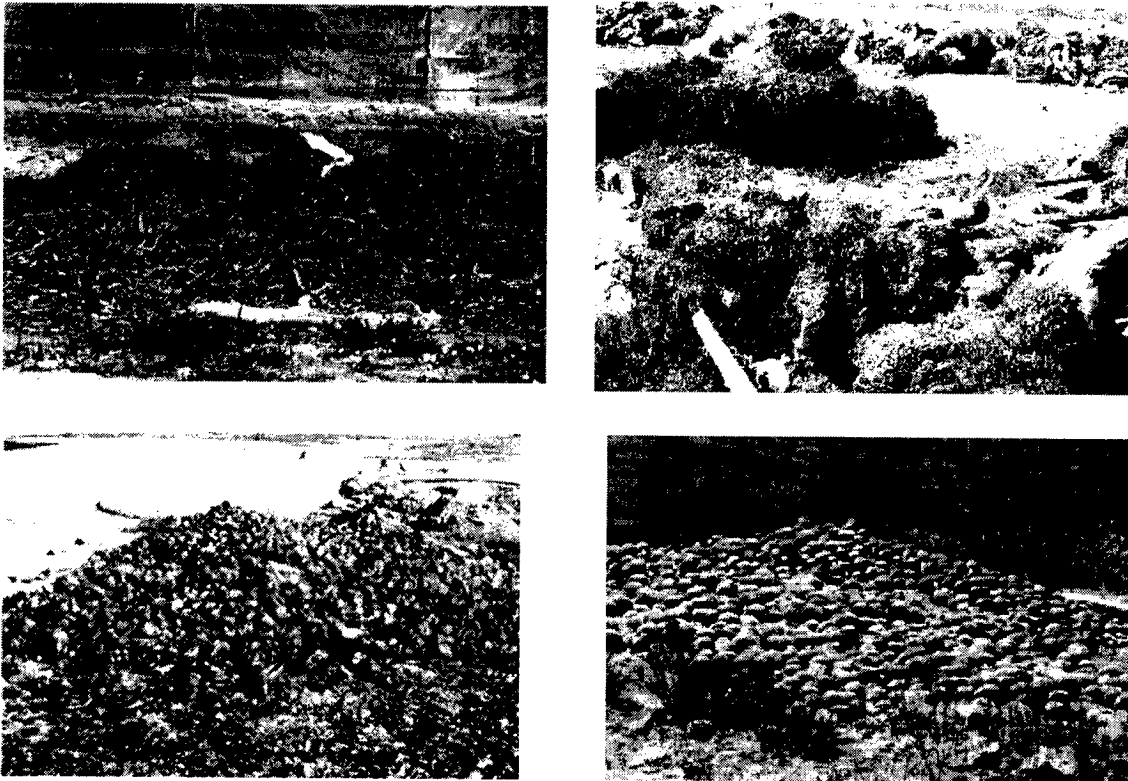
El compostaje es el reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura. Tradicionalmente los agricultores han reunido los desperdicios orgánicos para transformarlos en abono para sus tierras, el compostar dichos restos no es más que imitar el proceso de fermentación que ocurre normalmente en un suelo de un bosque, pero acelerado y dirigido, dando un producto de color marrón oscuro, en el cual el proceso de fermentación está finalizado y el abono resultante contiene materia orgánica así como nutrientes necesarios para la vida de las plantas (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y hierro) y proporciona a las tierras a las que se aplica prácticamente los mismos efectos beneficiosos que el humus para una tierra natural. (Escobar, 1998)

Entre las propiedades del compost se encuentra que mejora las propiedades físicas del suelo, favoreciendo la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua. Mejora las propiedades químicas, así como la actividad biológica del suelo, actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que ellos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

Los factores que condicionan el proceso del compostaje son: tamaño de la partícula (1-5 cm), temperatura (35 a 55 °C), humedad (40-60%), pH (6-7,5), Oxígeno (superior al 15%, y nunca inferior al 5, siendo el óptimo 20 %), también se requiere de una relación equilibrada de C/N. El compost se clasifica atendiendo al origen de sus materias primas, así se distinguen los siguientes tipos: De maleza, de maleza y broza, de material vegetal con estiércol, compost tipo Quick-Return que está compuesto por restos vegetales, a los que se les ha añadido rocas en

polvo, cuernos en polvo, algas calcáreas, activador Quick Return, paja y tierra y el compost activado con levadura de cerveza (<http://www.arrakis.es/~coag-irm/cd3.htm>)

El desarrollo de procesos de compostaje anaeróbico se genera gas y luego abono, para estos procesos se necesita la construcción de bioreactores que no son caros, pero que requieren para su óptimo funcionamiento de índices mayores en nitrógeno de los que proporcionan los residuos vegetales de origen hortícola, este aporte extra es posible conseguirlo de estiércoles, lodos, etc. y de este modo se obtendrían residuos de buena calidad para la posterior compostación aeróbica y se generaría gas que podría utilizarse directamente con motores de combustión interna y turbina de gas para generar energía eléctrica. Los países europeos, en los que se ha constatado su viabilidad económica y su limpieza son: Proceso Kampogas en Suiza, proceso Biocell en Holanda y otros. El desarrollo de este sistema exigiría la separación inicial de plásticos y otros cuerpos extraños, orear los residuos para su secado y su trituración mecánica lo que constituye un proceso semi-industrial.



**Figura 16. Residuos de cosechas, además de plásticos y envases**

Hay otras alternativas como la conversión de los restos vegetales en pasta de celulosa, proyecto desarrollado por la Universidad de Almería y el Ayuntamiento de El Ejido, la fabricación de aglomerados que es un proyecto que se está desarrollando en las mismas instituciones, también el aprovechamiento de los restos vegetales como fuente energética para desalar agua, proyecto Oro verde, en estudio por la Consejería de Medio Ambiente y la Junta Central de Usuarios del los Acuíferos del Poniente. De optar por una solución de este tipo, parecería más adecuada la gasificación, es decir la construcción de una planta que aprovechara la descomposición de los residuos para fabricar compost, y aprovechar los gases de la descomposición (metano) para producir energía que podría tener distintos usos tales como calefacción, desalación de agua de mar o salobres, etc. Es cierto que estas tecnologías aún no están muy desarrolladas, pero Almería podría ser pionera en este tipo de investigaciones, al igual que lo es su modelo agrícola (Escobar, 1998).

### **Sustratos**

Los principales sustratos utilizados en los cultivos sin suelo o cultivos hidropónicos son: Perlita, lana de roca, fibra de coco, tezontle, arena, etc. Los cuales vienen en sacos de polietileno, en una hectárea se utilizan aproximadamente 4,256 tablas de lana de roca ( $75 \text{ m}^3$ ), o 3,200 sacos de perlita ( $128 \text{ m}^3$ ). Entonces el desecho generado es el sustrato además del plástico en que viene empacada tanto la lana de roca como la perlita. La vida útil del producto puede ser de 2 a 3 años, Holanda, país en que este tipo de cultivos está más extendido, los fabricantes de los sustratos los que se hacen cargo del sustrato usado para su posterior reciclaje. Los camiones que llevan los nuevos sacos, son los encargados de retirar los antiguos, de manera que no se plantean problemas.

Aunque en la actualidad la superficie que se cultiva en sustratos sea pequeña, se observa una rápida extensión de este tipo de cultivos, ya que presenta ventajas sobre el sistema de enarenado tradicional, al permitir una mayor homogeneización de la producción, y además ahorra mano de obra. En los países europeos en los que se practica este tipo de cultivos, son las empresas productoras de los sustratos las que se encargan de su recogida y posterior tratamiento. Esta parece ser la mejor solución para hacer frente al problema que plantean los sacos de sustratos una vez utilizados. La forma de hacerlo sería sencilla, que el camión que lleve los nuevos sacos de sustratos se lleve los usados para su posterior reciclaje, que puede ser

realizado o por la empresa fabricante, o por alguna otra que llegue a algún acuerdo con aquella. (<http://www.ediho.es/cepla/euroagro/11/11.html>)

Tradicionalmente los residuos de los sustratos hidropónicos se destinaban a los vertederos, por lo que se reservaba para ello grandes superficies. En Almería existen empresas que se dedican a separar el sustrato usado del residuo orgánico que contiene. Con el primero de ellos se realiza un proceso de lavado para estar en disposición de reutilizarlo posteriormente, en tanto que con el residuo orgánico extraído se somete a sistemas de compostaje, para la obtención final de fertilizantes.



**Figura 17. Restos de sustratos.**

La desinfección de los sustratos hidropónicos se consigue por medio de métodos físicos y químicos. Entre los físicos está el tratamiento térmico por medio de vapor de agua a altas temperaturas, realizándose de forma cuidadosa para no afectar a los materiales. Otro método térmico disponible es la calefacción en seco. La pasteurización producida por el vapor, puede producir la eliminación de las bacterias nitrificantes respetando aquellas que transforman el nitrógeno orgánico en amoniacal.

La desinfección química esta basada en la aplicación de diversos productos. (Cloropicrina, vapam, etc.) que pueden tener toxicidad alta desde el punto de vista medioambiental. Se debe tomar en cuenta que el uso de productos químicos para la

desinfección nos obliga a dejar un tiempo, más o menos prolongado, hasta su reutilización. Estos tratamientos poseen también una eficacia reducida en condiciones de humedad elevada. (<http://www.ediho.es/cepla/euroagro/11/11.html>)

## **Envases**

El empleo de agroquímicos en la agricultura es el método más común para el control de plagas y uno de los principales factores que ha permitido alcanzar los altos rendimientos actuales, sin embargo, tanto los productos fitosanitarios como sus envases vacíos pueden ser muy dañinos para el hombre, los animales y el ambiente si no se los aplica en dosis adecuadas, se los manipulea en forma correcta y se los almacena en forma segura, por lo que existen diversas instituciones dedicadas a administrar el proceso de destino final de los envases vacíos (generalmente de plástico, aunque también hay presentaciones en envases metálicos, de vidrio o cartón).

El inPEV (Instituto Nacional de Procesamiento de Envases Vacíos de Brasil fundado en 2001 y representa a la industria fabricante de productos fitosanitarios en su responsabilidad de conferir el correcto destino final de los envases vacíos utilizados en la agricultura brasileña. Los costos generales de este programa son compartidos donde el agricultor tiene el costo de retomar los envases con triple lavado e inutilizados hasta los centros de acopio indicados en la factura de venta; el comerciante (revendedores y cooperativas) los costos de construcción y administración de los centros de acopio, los cuales son compartidos con las empresas fabricantes que además son responsables por los costos de logística y por el destino final y las autoridades nacionales deben participar en conjunto con los demás involucrados de los costos de la educación a los agricultores ([http://www.inpev.org.br/es/institucional/el\\_inpev.asp](http://www.inpev.org.br/es/institucional/el_inpev.asp))

Argentina también posee su programa de triple lavado para la eliminación de los envases vacíos, que es un paso previo para cualquier tipo de reciclado posterior y comprende dos etapas; en la primera, durante la aplicación de los productos fitosanitarios es el triple lavado y en la segunda etapa, después de su aplicación se debe proceder a su inutilización de los envases perforándolos, almacenamiento provisorio y su eliminación (<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=584>)

En Almería han desarrollado un proceso para detoxificación de las aguas de lavado de

envases de productos fitosanitarios mediante foto catálisis solar ya que el problema de lavar los envases eran los contaminantes que habían pasado a las aguas de lavado. Se reporta que producen anualmente 1,5 millones de botes de productos fitosanitarios que entran dentro de la catalogación de residuo tóxico y peligroso. Los experimentos han demostrado la viabilidad del proceso, por lo que sería de desear la rápida implantación del mismo en las empresas que en la actualidad se dedican al reciclado de plásticos, de manera que los envases que no se puedan reutilizar se reciclen. Para esta actividad sería necesaria la autorización de la Consejería de Medio Ambiente ya que se trata de residuos tóxicos. (López y Salinas, 1998)

En México se fundó el Plan de Manejo de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines (PLAMEVAA) para evitar que sean tirados en forma irresponsable en los canales de riego, ríos, arroyos, zanjas, barrancas o campo abierto y que sean quemados o enterrados generando focos de contaminación de medio ambiente y representando un peligro para la salud de las personas y de los animales. El objetivo de este plan es el promover la coordinación entre los agricultores, industria e instituciones federales, estatales y municipales de acuerdo a sus responsabilidades, así como la evaluación de las actividades de acopio de envases vacíos de agroquímicos y afines, definiendo la participación de cada uno de los involucrados en la cadena de uso y distribución, planteando estrategias para la minimización y valorización de los envases a través del reciclado para la fabricación de productos de uso agropecuario e industrial y recuperación de energía en su caso (AMIFAC, 2006)

El destino de los residuos de envases vacíos de agroquímicos puede ser el reciclado, co-procesamiento, incineración o confinamiento controlado y SEMARNAT indica que para que los envases que contuvieron agroquímicos puedan ser reciclados, deberán estar limpios y secos, esto es, haber sido sometidos al tratamiento del triple lavado. La empresa recicladora deberá contar con tecnología adecuada para no liberar contaminantes al aire ni agua durante su proceso de reciclado y comprometerse a fabricar con el material de los envases, solamente artículos que no vayan a estar en contacto directo con las personas o animales.

Por su alto poder calorífico (de 6,300 a los 7,900 cal/g), los envases vacíos de agroquímicos pueden ser co-procesados representando un excelente potencial para ser reutilizados como combustible alternativo en plantas cementeras o siderúrgicas que cuenten con la



autorización de la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas.

La incineración es otra opción cuando se tienen materiales contaminados o envases flexibles a los cuales no se les puede realizar el triple lavado. En el caso de que los envases vacíos de agroquímicos y afines estén contaminados o sean envases flexibles, no existe otra alternativa que enviarlos a las empresas que cuentan con hornos especializados para incineración de residuos peligrosos. Cuando se llegue a ocupar esta alternativa de disposición final se deberá contratar un transporte autorizado para llevar residuos peligrosos y generar el manifiesto de residuos peligrosos.

En cuanto al confinamiento controlado no se considera una buena opción debido a los volúmenes que se generan de envases que se liberan al ambiente cada año ya que no resuelve el problema, solamente lo congela en un sitio determinado que pronto podría ser insuficiente. (<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/materiales/plamevaa.pdf>)



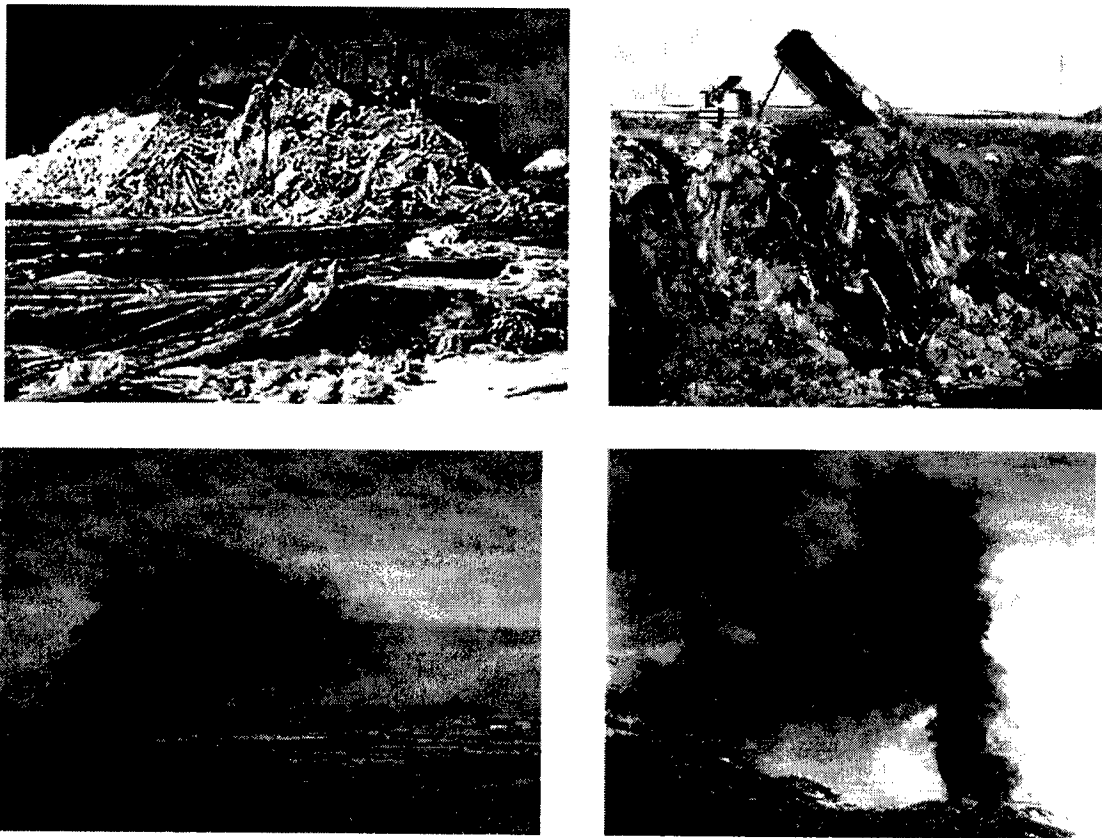
**Figura 18. Desechos de envases de agroquímicos**

### **Plásticos**

Aún cuando los plásticos utilizados en la agricultura representan un pequeño porcentaje del total de plásticos consumidos juegan un papel importante ya que están presentes

en los sistemas de irrigación y drenaje, películas para acolchado, solarización, de cubierta de túneles e invernaderos, rafia, tuberías de riego por goteo, sacos y bolsas de fertilizantes, de sustrato, botellas, garrafas y envases de productos fitosanitarios, bandejas de transporte y plantación, tela mosquitera para bandas y aperturas cenitales, cajas de plástico para transporte y venta de frutos, etc.

Para las cubiertas de los invernaderos el plástico más utilizado en la cubierta es de Polietileno (PE) de baja densidad, el EVA (Copolímero de etileno y acetato de vinilo) tricapa, para acolchado, solarización y mallas también se utiliza el PE pero con distintos calibres. En algunos casos, especialmente en viveros, se están utilizando plásticos rígidos, como los Policarbonatos (PC), Poliéster, o Policloruro de vinilo (PVC).



**Figura 19. Contaminación ambiental por plásticos agrícolas**

Los problemas se plantean cuando el plástico ya ha finalizado su vida útil, tiempo que

puede variar según el destino al que se dedique. Lo habitual era acumularlos en un descampado y prenderlos fuego, lo que producía negras columnas de humo, otra alternativa fue depositarlos en los socavones resultantes de la extracción de tierra, con la finalidad aparente de enterrarlos después.

### **Películas para Invernaderos y Túneles**

Las películas para agricultura en su gran parte son de polietileno (LDPE, LLDPE) y tienen un plazo de vida útil corto además de ser utilizados en aplicaciones en exteriores por lo que son expuestos a la radiación UV, que altera las propiedades físicas y químicas de material, teniendo consecuencias negativas sobre las posibilidades del reciclaje. La contaminación por tierra, materiales vegetales y la humedad la presencia de residuos de pesticidas, la humedad y la suciedad incrementa los costos del procesado por el lavado que implica, aumentando también los costos de eliminación de los residuos. Del mismo modo, la baja densidad de los materiales tiene efecto sobre las cantidades de residuos que pueden ser recogidos, sin embargo la estacionalidad de la generación de los residuos y los grandes volúmenes de material que utilizan los agricultores pueden obviar este problema.

En España actualmente, gran parte del plástico se recoge y existen empresas que se dedican al reciclado, para producir granza que sirve de materia prima para la fabricación de diversos objetos, aunque el principal problema con el que se enfrentan las empresas de reciclado de plástico, son los bajos precios del petróleo, que hacen que en ocasiones no sea rentable producir granza, ya que la granza virgen (la que se obtiene directamente), es mejor y más barata que la reciclada. La empresa IBACPLAST, ha desarrollado una tecnología propia para elaborar nuevos productos como los palos para invernadero de plástico reforzado con varillas metálicas en su interior, con la ventaja de mayor resistencia al agua y que no alojan plagas en comparación con la madera. Estas empresas privadas no solo reciclan el plástico de las cubiertas, sino que trabajan con todo tipo de plásticos, incluyendo cajas rotas, goteros, etc.

España tiene campañas de limpieza y sensibilización de los agricultores, la promulgación de ordenanzas municipales prohibiendo la quema incontrolada o el abandono de estos residuos. En Andalucía y Murcia hay cinco plantas destinadas al reciclado mecánico de plásticos agrícolas, además un grupo de empresas constituido por Ciba, Dow Chemical Ibérica

y Repsol-YPF ha desarrollado un proceso de recuperación energética de los residuos plásticos de invernaderos, mediante un proceso de co-combustión en una central térmica de carbón pulverizado. Una correcta gestión de residuos, dentro de un sistema integrado de gestión, debe emplear las diversas opciones posibles para unas determinadas condiciones locales. Mediante la valorización energética de los plásticos, empresas como ENDESA y Hornos Ibéricos utilizan los plásticos en la incineración controlada ya que son un excelente combustible, aunque esta opción no parece aconsejable ambientalmente, ya que el plástico se puede reciclar para fabricar nuevos productos. Para poder incinerar el plástico, es necesario, limpiarlo y tratarlo para reducirlo a granza de manera que pueda ser quemado en las calderas de las empresas que estén dispuestas a ello, la diversa procedencia del plástico de los invernaderos no garantiza que vayan libres de impurezas

<http://www.cepla.com/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2796&refcompra=NULO>

Cuando los plásticos procedentes de la agricultura no se reciclan, es aconsejable utilizar la recuperación energética, ya que los análisis realizados muestran que además de su considerable valor como combustible cuando dejan de ser útiles: los contenidos de humedad y de cenizas del polietileno son inferiores a los del carbón lo que, unido a su mayor contenido de carbono e hidrógeno, hace que su poder calorífico sea superior en más del 50 %, con lo que se consiguen efectos positivos como la producción de energía, reducción del consumo de combustibles fósiles así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Cimadevilla y Morales, 1998)

Empresas de reciclaje españolas como Egmasa, Deplax y Los Palacios se obtiene la granza para la fabricación de bolsas de basura, cubos, macetas, tuberías y mangueras de riego agrícola, entre otros productos. Antes de llegar a la granza, los plásticos sufren un proceso de transformación de ocho etapas en las que se reduce el tamaño de los residuos, se eliminan los ácidos y las impurezas, se funde y se pica el plástico para que obtenga una mayor densidad y se envasa con el fin de que exista un lote uniforme. Los agricultores deben «llevar los residuos a centros autorizados, o entregarlos a recogedores que les garanticen mediante certificado que los plásticos van a llegar al gestor autorizado», en ningún caso, abandonar o incinerar los plásticos, ya que las consecuencias medioambientales serían fatales. (Sáenz, 2007)

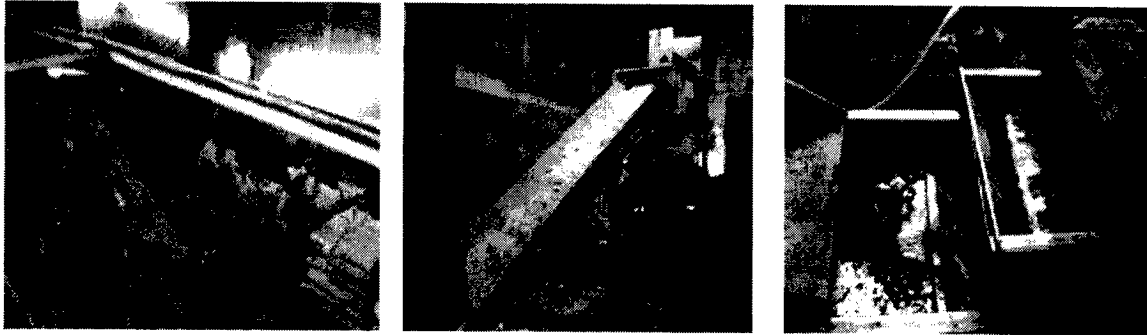
En Colombia, la empresa Productos Químicos Andinos, SA puso en marcha una línea de reciclaje de plástico de invernadero usado para disminuir la contaminación generada por este tipo de residuos además de dar una solución adecuada a los usuarios de sus productos, para lo cual recomienda que cuando se desmonte el plástico de los invernaderos se vaya doblándolo en paquetes de 25 a 30 kg para evitar que se adhiera demasiada tierra y/o agua al material, el plástico para reciclar comprende el de cubiertas, canales y encerramientos. Este mismo procedimiento debe realizarse con el plástico negro.



**Figura 20. Doblado y empaquetado del residuo plástico de invernadero.**

El proceso productivo de reciclaje de plástico inicia en el desgarre del material a pequeños trozos, dándoles un primer lavado, posteriormente pasa al molino donde el plástico adquiere una forma más pequeña dándole un centrifugado que garantiza un proceso continuo de limpieza al plástico. Después de estos procesos el material pasa a la tina de lavado, solo con agua donde la máquina retira automáticamente los elementos extraños como pequeños residuos de madera y metal, removiendo la totalidad de impurezas del plástico. Pasa a un tercer centrifugado y después a la compactadora, donde se extraen los excesos de agua para de allí proseguir al secado. Ya seco el material, pasa a la peletizadora donde se funde mediante calor, adquiriendo su forma final al pasar a través de unas boquillas. Por último el peletizado es embolsado y almacenado. Paralelo a este proceso, se lleva a cabo el tratamiento de aguas residuales industriales generadas durante el proceso de reciclado y peletizado donde el agua pasa a una primera etapa de decantación, para que las partículas gruesas queden en el fondo de los tanques. Luego se adicionan productos químicos que permiten la floculación o aglomeración de los materiales que no han decantado en la primera etapa y cuando concluye este proceso, el agua pasa a los tanques sedimentadores donde se realiza la separación del floculado que se formó en la etapa anterior, quedando el agua limpia. Para asegurar la calidad

del agua, esta es pasada por filtros, y finalmente almacenada en piscinas, las cuales alimentan nuevamente el proceso productivo. (<http://www.pqa.com.co/reciclaje.php>)



**Figura 21. Proceso del reciclado de películas de invernadero.**

### **Películas para Acolchado**

Las películas para acolchado, por estar en contacto con el suelo, el nivel de contaminación es elevado, hasta el 80% de su peso con tierra, residuos de hortalizas y humedad, lo que hace difícil su reciclaje (Hannequart, 2004)

De acuerdo con Armando Morales, miembro de la división de plásticos en la agricultura de Anipac (Asociación Nacional de Industriales del Plástico en México), en México el renglón de mayor relevancia es el de acolchados, que consume cerca de 48.000 toneladas anuales y tiene ciclos de renovación de 9 a 12 meses. Después vienen las películas de invernaderos, que cubren cerca de 8.000 hectáreas y tienen una duración promedio de 2 años y así al intensificarse el uso de técnicas que llevan como insumo principal los plásticos, incrementará también la cantidad de residuos, por lo que actualmente, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) pretende crear un programa y una cultura de acopio, recogida y reciclaje los residuos generados de las actividades agrícolas que utilizan plasticultura, responsabilizando a cada uno de los involucrados con la parte que le corresponda de manera que se pueda lograr un ambiente libre de contaminación Existen actualmente algunas empresas dedicadas al reciclaje de plásticos agrícolas, pero son esfuerzos aislados, además de que no todos los agricultores tienen la disposición para recoger sus plásticos y ponerlos a disposición del reciclador y por otra parte los distribuidores de resinas,

procesadores de plásticos y los distribuidores de productos finales, así como las instancias gubernamentales no están integrados a lo que debiera ser una cadena de manejo y disposición de los desechos de plásticos agrícolas.

### **Películas para Ensilado**

Las películas para ensilado tienen una contaminación de aproximadamente el 50% del peso total y corresponden a terrones, fragmentos de hortalizas, alambres de púas y humedad, según lo reportado por el Departamento de Aveyron (Francia), en donde el Sindicato Agrícola Nacional es el encargado del acopio en tanto que el SOPAVE se encarga de recibir y reciclar el material recogido. Como el sistema no es autosuficiente el Consejo General otorga una subvención de 38 euros por tonelada de plástico acopiado. (Hannequart, 2004)

En Bélgica, las películas de plástico agrícola están sujetas a obligaciones legales, los vendedores detallistas están obligados a aceptar la devolución sin cargo alguno de los residuos plásticos agrícolas. Los mayoristas y los importadores deben organizar y financiar este mecanismo, o financiar directamente las actividades de recogida de forma gratuita que es anual y dura una semana, realizada a nivel intermunicipal. Esto impone una tasa de reciclaje basada en las cantidades recogidas, la que incrementó del 20% en 2003 a 50% en 2005. Se acopian las películas de PE para el ensilado de depósito (que es oscuro y grueso) o en balas (blanco, delgado y extensible) y películas para protección contra heladas, se deben entregar secas, cepilladas y sin residuos, en fardos de 20 kilos máximo (Hannequart, 2004)

Plastretur SA es una empresa fundada en 1995 compuesta por productores de plástico, vendedores minoristas y usuarios de envases y embalajes de plástico que paga a los recolectores 175 euros por tonelada de películas entregadas por los acopiadores. Las películas de ensilaje se reciclan principalmente en Noruega mientras que las de cobertura y bolsas grandes de PP son exportadas. En las películas de ensilado reportan niveles de contaminación del 20%, atribuyéndole un 5% a la tierra y un 15% a la humedad. (Hannequart, 2004)

## **Impacto Ambiental de los Residuos Agrícolas**

Como principales consecuencias de la acumulación de residuos agrícolas podemos destacar la contaminación de las tierras de cultivo debido al aporte de nutrientes para corregir las carencias de las tierras agotadas, por lo que éstas van acumulando residuos químicos que después van a parar a los acuíferos. El impacto paisajístico debido a que residuos de todo tipo ayudados por el viento, y por la mano anónima, están esparcidos por todos lugares (parajes naturales, playas, caminos, tierras sin cultivar, canales de riego, etc.

La contaminación atmosférica debido a la quema de todo tipo de residuos, convirtiendo la atmósfera en irrespirable, sobre todo cuando no hay viento, y al final de los períodos de cosecha cuando se acumulan los restos de éstas. También las distintas técnicas de aplicación de los productos fitosanitarios provocan contaminación en el aire: Pulverización, espolvoreo y nebulización. La capa de ozono también se ve afectada por los residuos de bromuro de metilo usado para desinfectar las tierras. Otros apuntan que el aumento de temperatura interior de los invernaderos redonda posteriormente en el clima de la zona.

Difusión y ampliación de plagas ya que al abandonarse los residuos vegetales en los alrededores de los invernaderos, todos los transmisores de las plagas vuelven al interior del invernadero y a los colindantes, siendo los restos vegetales abandonados un caldo de cultivo para su multiplicación, ya que los montones de residuos se convierten en reservas de larvas y huevos de distintos insectos y otros parásitos, como trips, mosca blanca, araña roja, pulgones, etc., que pueden desarrollarse con facilidad en este medio y causar daños a los cultivos próximos.

La utilización de las plantas de invernadero como alimento para el ganado, con su alto contenido en residuos químicos derivados de los tratamientos fitosanitarios, y posteriormente utilizar su carne para consumo humano, hace que estos productos puedan pasar a la cadena alimenticia. La aplicación de los tratamientos contra plagas, de productos fitosanitarios, sin las debidas precauciones, permite que estos residuos lleguen al hombre dando lugar a intoxicaciones que derivan en problemas neurológicos, infertilidad, abortos, etc., que se detectan después de una reiterada aplicación de estos productos. Los residuos en frutos



deberían ser nulos por incorporarse directamente en nuestra alimentación.

Los plaguicidas contaminan también las aguas subterráneas de forma directa (plaguicidas vertidos en sumideros, pozos, limpieza de utensilios de aplicación, envases abandonados) o indirectamente al lavarse la tierra donde permanecen y llegan a los acuíferos, siendo los organoclorados los más peligrosos al ser insolubles en el agua y no degradarse. No sólo el retorno de aguas de riego incorpora los contaminantes a las aguas subterráneas, otras vías son los vertederos incontrolados de residuos agrícolas, los residuos enterrados en hoyos que son auténticos pozos, las pérdidas o accidentes en almacenes de sustancias tóxicas, etc. (López y Salinas, 1998)

### **Aspectos Técnicos del Reciclado de Plásticos Agrícolas.**

Desde el punto vista técnico, los principales problemas del reciclador de plásticos a la hora de abordar la gestión del plástico agrícola son el elevado grado de contaminación con otros elementos distintos al plástico y el nivel excesivo de degradación por exposición al sol durante períodos largos, por lo que se deben adoptar las máximas precauciones en la recogida y disposición de los plásticos, sin embargo el factor favorable al reciclado de los plásticos de origen agrícola es que puede ser empleado para aplicaciones agrícolas de nuevo como postes, vallas, tuberías, maceteros, etc. Cuando los problemas técnicos hacen inviable su reciclado, es preferible utilizar sistemas de valorización energética antes de enviar los residuos plásticos a rellenos sanitarios.

### **Energía a Partir de Residuos Plásticos Agrícolas.**

La valorización energética es una de las opciones más importantes que se derivan de un planteamiento integral de gestión de los residuos plásticos procedentes de la agricultura, especialmente las películas de larga duración procedentes de las cubiertas de invernaderos que han soportado una mayor radiación solar y al estar muy degradados, es muy difícil su reciclado mecánico, por lo que es necesario optar a un sistema de valorización con recuperación energética.

## **Co-Combustión en Central Térmica de Carbón Pulverizado**

Fabricantes de materiales plásticos y aditivos como Repsol Química, Dow Chemical, Ciba Especialidades Químicas, desarrollaron un proyecto para utilizar las películas de PE de los invernaderos como combustible auxiliar en las Centrales Térmicas de carbón pulverizado diseñado para un caudal constante de 3 ton h<sup>-1</sup> a máxima carga térmica, con disminución de la alimentación de carbón en cantidad equivalente al poder calorífico de los plásticos.

## **Gasificación**

La empresa especializada en ingeniería medioambiental, EIE (Environmental International Engineering) ha impulsado las primeras plantas en España de gasificación que convertirán los residuos plásticos agrícolas en electricidad mediante la tecnología canadiense Kemestrie. Ambas plantas (localizadas en Castellón y Huelva) responden a la necesidad de ofrecer un tratamiento de valorización con recuperación energética a residuos difícilmente reciclables. En Castellón las plantas azulejeras utilizan gran cantidad de bolsas grandes de PP, algunas portadores de RTP's y cuya mejor solución ambiental y económica es la indicada valorización. En el caso de la Planta de Cartaya, Huelva las películas de PE y copolímeros EVA de los túneles con alto contenido en ácidos hacen muy difícil su reciclado, por lo que este proceso es una salida adecuada.

## **Gasificación y Pirólisis**

El Complejo Medioambiental de Andalucía, S.A. (CMA), tiene un vertedero controlado en Nerva (Huelva) dedicado principalmente a residuos industriales y RTP's con una capacidad de 25,000 toneladas anuales

## **Combustibles Derivados de Plásticos**

La utilización del llamado CDP (Combustible Derivado de Plásticos) será pronto una realidad, pues los resultados experimentados en España tanto en plantas cementeras como en térmicas al emplear residuos plásticos como co-combustible, son muy favorables. Su uso es recomendable, pues no solo igualan sino que pueden incluso reducir los niveles de emisiones, particularmente de SO<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>. (<http://www.ediho.es/cepla/euroagro/11/11.html>)

## ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

La región Almeriense es de las pioneras tanto en el uso de plásticos agrícolas como en su reciclaje, de las empresas que se dedican al reciclado de plásticos las más importantes son EGMASA, empresa pública, que se dedica sobre todo al reciclaje de plásticos de cubierta para invernadero, a partir de los cuales produce granza que después comercializa con capacidad de tratamiento de 5,000 toneladas anuales.

IBACPLAST, empresa ubicada en El Ejido, recicla toda clase de plásticos, desde cubiertas de invernadero, hasta recortes de plástico de los fabricantes del poniente, pasando por tuberías, cajas, etc. y ha participado en el proyecto de detoxificación de las aguas del lavado de envases de productos fitosanitarios, manifestado su interés por reciclar los envases plásticos de estos productos una vez que cuente con las autorizaciones para ello. Esta empresa con el plástico reciclado fabrica todo tipo de objetos e incluso diseña su propia maquinaria. Comercializa estacones de plástico reforzados con varillas de metal para invernaderos.

TECMED, empresa dedicada a la fabricación de compost a partir de residuos agrícolas con capacidad de tratamiento de 50,000 toneladas anuales. OCTAVI Y EJIDO MAJAL, son dos empresas que se dedican a la venta de sustratos y a su recogida para reciclarlos.

PLASTRETUR SA, empresa noruega recicla películas de ensilaje, mientras que las de cobertura y bolsas grandes de PP son exportadas (Hannequart, 2004)

En Colombia, la empresa Productos Químicos Andinos, SA recicla plástico de invernadero para darle una solución adecuada a los usuarios de sus productos. Además de llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales industriales generadas durante el proceso de reciclado y peletizado. (<http://www.pqa.com.co/reciclaje.php>)

## **Estado Actual del Reciclaje en México**

El consumo total de plásticos en México durante 2006 alcanzó la cifra de 4'650,000 toneladas, de los cuales 3'980,000 toneladas corresponden a los Plásticos Commodities como el Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Policloruro de Vinilo (PVC), Poliestireno (PS) y Polietilén Tereftalato (PET) y de acuerdo a una investigación realizada sobre una muestra representativa de recicladores de plásticos durante el 2006 se reciclaron en nuestro país alrededor de 240,000 toneladas, equivalentes al 5.8% de los desechos que se consumieron ese año, significando que en promedio se han acumulado en la basura de los últimos 10 años una cantidad cercana a los 40 millones de toneladas de envases plásticos y alrededor de 20 de desechos que provienen de los usos “durables”, es decir, computadoras, enseres domésticos, juguetes, muebles y artículos para el hogar. Por exponer solo un caso, Telmex al sustituir y actualizar sus herramientas, sustituyó el año pasado 4,000 máquinas, y si consideramos 2 kilos de plástico en cada una, esto representa alrededor de 12 toneladas de desechos plásticos. (Márquez y Conde, 2007)

El último censo de INEGI, señala que la producción de basura fue de 35'383,000 toneladas en 2005, lo que representa una generación diaria per cápita de 1.41 kilos por día por persona, constituyendo los desechos orgánicos la mayor parte y los plásticos ocupan el 6.11% del total, que aunque no representan gran porcentaje en cuanto a peso, si lo son en volumen debido a su característica de ligereza y, aunado a su larga duración, se han vuelto blanco directo de ataque de muchas corrientes ecológicas. El mismo censo revelan que la disposición final de los residuos sólidos urbanos fue 64.8 % en rellenos sanitarios y el 35.2% restante engloba otros sitios no controlados, así como lo que se recicla. Actualmente, en la República Mexicana existen únicamente 118 rellenos sanitarios y de tierra “controlados”, el resto, son tiraderos a cielo abierto (más de 50,000).

En general, más del 80% del material que se acopia en México se exporta a otros países como Estados Unidos que emplea algunos materiales para fabricar ropa térmica, China que tiene un amplio mercado en fibra textil, Malasia, Filipinas, Taiwán y la India y sólo una mínima cantidad se queda en México para transformarlo en otros productos (Zesati, 2007).

En el acopio hay empresas serias y muy grandes que recuperan miles de toneladas al mes como Avangard, que entre la filial de Houston y México son el tercer acopiador de Latinoamérica, Grupo Simplex en Monterrey con más de una década de experiencia, Global Plastics en Monterrey, Recicladora de Plásticos de Tuxtla Gutiérrez, Innovative en Durango, Suministros Integrales de Plástico, aunque también están otros acopiadores informales que reúnen un par de toneladas al mes de manera inconsistente, esto aunado a que desafortunadamente en el negocio de reciclado existe mucha especulación y competencia ante la volatilidad en los precios de las materias primas vírgenes.

La industria de transformación y uso industrial de plásticos es la fuente de desperdicios plásticos más atractiva, pero también la más escasa, debido a la calidad de limpieza y características de los mismos. Generalmente consisten en artículos que no cumplen con los requisitos de calidad, como las mermas ocasionadas por arranques y paros, productos defectuosos, coladas, barreduras y recortes. Otra fuente son los distintos insumos que una vez utilizados se desechan en centros comerciales (películas plásticas, ganchos, cajas, estuches). Y la fuente más grande proviene de los desperdicios post consumo los cuales son los más contaminados y difíciles de separar y lavar, ya que surgen de la pepena de la basura, o bien, de centros de acopio especializados como sucede en el caso de los envases de PET.

El total de empresas que se dedican al reciclaje en nuestro país es de alrededor de 130, obteniendo como productos finales las tablas del PE que incluyen piezas inyectadas como cajas, contenedores y cubetas, así como envases soplados postconsumo de leche y jugos, o de productos de limpieza, los cuales son de polietileno de alta densidad. APREPET tiene un programa cuyo objetivo es crear sistemas accesibles para acercar el reciclaje de PET a las pequeñas y medianas empresas, de tal forma que se instalen plantas en distintos lugares para abatir los costos del transporte de desechos de PET con el que se produce fibra textil y otros artículos como lámina, fleje o incluso botellas para uso no alimenticio. (Zesati, 2007).

El éxito logrado hasta ahora del reciclaje de PET se basa en la existencia de programas de acopio que apoyan las firmas usuarias de envases, como las refresqueras más importantes. En México, el PET representa casi el 3% de la basura, y se estima que se tiran 2.5 billones de botellas de plástico de las cuales sobresale el PET. El número de acopiadores de PET en México fluctúa entre 100 y 160, de los cuales, únicamente entre el 15 y 20 % están bien

establecidos. La tasa de recuperación de residuos de PET es de 10 a 15%. Del 80% solo se recicla un 2 o 3% y se envían a China 150,000 toneladas de desperdicios plásticos para reciclado (García, 2007)

Por otro lado, los desperdicios de películas se convierten en bolsa negra para basura o en tubería negra para conducción de agua, sin embargo, reciclar películas de PE resulta un negocio poco atractivo debido a que su tratamiento es muy caro por el alto grado de contaminación que generalmente tienen los desperdicios. La película agrícola presenta el mismo problema de contaminación por lo que también resulta difícil su reciclamiento.

Otros productos como las tapas de refresco (PP) han resultado ser uno de los productos que venden las firmas que reciclan PET, ya que siempre vienen presentes en las pacas que envían los acopiadores y con ellas fabrican macetas y otros artículos para el hogar.

El PS se ha convertido en un plástico de lujo debido a su alto precio, motivando que los desperdicios del mismo sean más apreciados por los transformadores, quienes tratan de evitar al máximo la generación de mermas, reciclando sus desechos en sus mismas líneas de producción y se utiliza en la fabricación de tacones de zapatillas para dama (Márquez y Conde, 2007)

Los desperdicios PVC de cables, manguera, garrafones o tubería se muelen y posteriormente se reformulan en compuestos para la fabricación de suelas negras en calzado, losetas asfálticas, zoclo, perfiles, regatones y aplicaciones que no demanden excelencia en colores y acabados.

En México son pocas las empresas que llegan al punto final del reciclaje que implica transformar los residuos en otro producto, empresas como Tecnología de Reciclaje, lo utiliza para hacer fibra corta; Grupo Alen en Monterrey, recicla de botella a botella para envasar sus mismos productos; Envases Plásticos del Centro en San Luis Potosí, hacen fleje y lámina; Reciclados Crisol, produce fibra textil. Otras plantas hacen lámina gruesa y algunas otras, utilizan PET reciclado para hacer fibra de escoba. Recientemente ALPLA y Coca Cola invirtieron cerca de 20 millones de dólares en la construcción de la planta Industria Mexicana de Reciclaje IMER con el proceso de reciclado botella a botella grado alimenticio. El gránulo resultante se puede mezclar en una concentración del 10% con resina virgen para producir

botellas grado alimenticio. Esta planta puede procesar hasta 25 mil toneladas anuales. El PET también es “recuperable”, mediante procesos químicos es posible obtener sus materias primas. Con este fin, en León, Guanajuato, existe una planta del Grupo Desmex, ECOPUR, que utiliza desechos de PET y de Poliuretano para obtener polioles, los cuales a su vez sirven para formular sistemas rígidos para varios tipos de aplicaciones de espuma rígida.

Otra ventaja del PET es su poder calorífico equivalente al 70% del combustóleo, por lo que se puede emplear como combustible alternativo o secundario para distintas industrias. Actualmente, Cementos Cruz Azul en Oaxaca, utiliza PET como combustible, aunque en realidad la mayoría de las cementeras aprovechan el hule de las llantas como fuente de energía (García, 2007).

Se sabe que uno de los factores que influyen en el precio del PET reciclado además del precio de la materia virgen, es el precio de otros productos empleados en la industria textil. Por ejemplo, si el precio del algodón sube como consecuencia de las malas cosechas resulta viable utilizar materiales sintéticos como la fibra poliéster. Actualmente, el precio del PET postconsumo fluctúa entre 1 y 2 pesos por kilo (10 a 20 centavos de dólar usd) y este aumenta una vez reciclado, de acuerdo a la calidad que se logra en el proceso.

Otra asociación es ECOCE que fue creada en el 2002 por diversas industrias embotelladoras de bebidas, refrescos, salsas, condimentos aderezos, como Coca Cola, Pepsi Cola, Gatorade, Bonafont, Danone, Nestle, Sabritas, La Costeña, Peñafiel, Aga, Jarritos, Barrilitos, Omnilife, Gerber, entre otras, que representan del 60 al 65% del mercado total de PET en México, cerca de 400,000 toneladas de PET. “La asociación administra un plan de manejo de residuos de envases de PET bajo el concepto de responsabilidad compartida que consta de manejar adecuadamente los residuos, desde el ciudadano que no tire los residuos, el gobierno que tenga la infraestructura necesaria con botes, plantas de separación, rellenos sanitarios y la industria” comenta Jorge Treviño, Director General de ECOCE. Actualmente hay 21 ciudades trabajando en este programa, recuperando 10 veces más del material inicial que fueron 6000 toneladas en el 2006. Una de las empresas que se ha especializado en la compra y venta de plásticos post industriales y plásticos de ingeniería desde hace 30 años es Recuperadora y Maquiladora de Plásticos. Algunos materiales que reciclan son Policarbonato, Poliamida y ABS (Reich, 2007)

## **AREAS DE OPORTUNIDAD**

Es indudable que uno de los retos para que el reciclaje logre éxito, es el cambio de cultura en todos los niveles. En México, existen varias instancias como el Instituto Nacional de Recicladores donde a través de diversos eventos y seminarios informa al público en general sobre temas de reciclaje. En el INARE promueven y dan alternativas para reducir el uso de sustancias tóxicas y generan la conciencia del impacto social, económico y ambiental que tiene la fabricación de distintos artículos.

Las regulaciones indican que cualquier propuesta debe ser factible económicamente, sustentable ambientalmente y debe tener aceptación social. En México es necesario una mayor alineación entre las regulaciones federales y las estatales que vayan en sentido del desarrollo sustentable, aunque cada estado es independiente y tiene sus propias facultades, debe haber cierta homogeneidad para que los residuos sean regulados de la misma manera en todos los estados.

La mayoría de los recicladores que permanecen en el mercado mexicano deben su supervivencia al hecho de ser empresas integradas a procesos industriales más amplios y aunque nuestro país cuenta con años de atraso en el reciclaje con respecto a Europa y Estados Unidos, fomenta la industria del reciclaje. Otro factor adverso a esta industria es la limitada demanda de sus productos debido a que el público consumidor piensa que son de menor calidad, por lo que lo ideal es darle usos al material reciclado donde haya un valor agregado importante que es lo que abre nuevos mercados.

Muchas de las empresas dedicadas al reciclaje, solo se dedican al peletizado de la resina sin llegar a la manufactura de un nuevo producto, la hojuela se exporta a diferentes países para transformarlo en otros productos. Sin embargo el reciclaje de plástico tanto industrial como de postconsumo y el agrícola tienen una amplia gama de usos que se les pudiera dar como la fabricación del mismo producto (de boletta a botella), de nuevos productos, de fibras textiles, láminas, películas, flejes, etc.



Actualmente hay pocas empresas mexicanas que llegan al punto final del reciclaje como Tecnología de Reciclaje (fibra corta), Grupo Alen, ALPLA y Coca Cola (botella a botella), Envases Plásticos del Centro (fleje y lámina), Reciclados Crisol (fibra textil)

Recuperación de plásticos mediante procesos químicos para obtener sus materias primas como el Grupo Desmex, ECOPUR, que utiliza desechos de PET y de Poliuretano para obtener polioles, los cuales a su vez sirven para formular sistemas rígidos para varios tipos de aplicaciones de espuma rígida.

También se puede obtener energía de los residuos plásticos cuando es muy difícil su reciclado mecánico debido a la contaminación del material, por lo que es necesario optar a un sistema de valorización con recuperación energética como lo utiliza actualmente la cementera Cruz Azul en Tepeji de Río, Hidalgo

Otro uso que se le puede dar al residuo plástico es la co-combustión para la generación de energía, la gasificación y gasificación y pirólisis

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para lograr que un negocio de reciclado en plásticos sea rentable, deben cumplirse ciertos aspectos entre los cuales la Tecnología es muy importante ya que el equipo debe elegirse en función de las características de los desechos que se reciclan además de la supervisión de verdaderos expertos en polímeros a cargo de las áreas clave de las empresas recicladoras de plásticos

Además, es de vital importancia que las empresas recicladoras conozcan claramente su competencia, los canales de distribución, lugares de venta del producto, inventarios y, sobre todo, los precios que predominen en el momento de la venta para que el Reciclado pueda ser un buen negocio que genere recursos e imagen por desarrollo de productos sustentables que favorecen el cuidado del medio ambiente.

Generar una cultura de acopio, recogida y reciclaje los residuos industriales, urbanos y agrícolas tratando de que cada eslabón de la cadena se haga responsable de la parte que le corresponda para que se pueda lograr un ambiente libre de contaminación.

Existen actualmente algunas empresas dedicadas al reciclaje de plásticos agrícolas, pero son esfuerzos aislados, además de que no todos los agricultores tienen la disposición para recoger sus plásticos y ponerlos a disposición del reciclador y por otra parte los distribuidores de resinas, procesadores de plásticos y los distribuidores de productos finales, así como las instancias gubernamentales no están integrados a lo que debiera ser una cadena de manejo y disposición de los desechos de plásticos agrícolas. Tener centros de acopio primario, centros de acopio final y plantas de reciclado de materiales plásticos de uso agrícola.

## BIBLIOGRAFIA

- AMIFAC. Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A.C. 2006. Plan de Manejo de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines (PLAMEVAA). "Conservemos un Campo Limpio". México, DF.
- Capella, F. 1996. Poliamidas por todas partes gracias a su versatilidad. Interempresas.net. 01/03/1996. <http://www.interempresas.net/plastico/Articulos/Articulo.asp?A=3856>
- Cerro, L. M. 1996. Reciclaje de Plásticos. Departamento de Química y Biología de la Universidad de las Américas-Puebla. Revista AlephZero 4, Junio-Julio de 1996.
- Chamorro, J.G. Sin fecha. Estudio de factibilidad para conformar una empresa. A partir del reciclaje de polietileno de alta y baja densidad (Bolsi-plast). <http://www.monografias.com/trabajos15/reciclaje/reciclaje.shtml>
- Cimadevila, F. y Ma. A. Morales. 1998. Los plásticos amplían gama de productos saludables, combaten plagas y ahorran recursos. [http://www.josechu.com/ribernet/1998/1998\\_4/22\\_entrev\\_reciclado.htm](http://www.josechu.com/ribernet/1998/1998_4/22_entrev_reciclado.htm)
- Ehring, R.J. 1992. Plastics Recycling: Product and Process. SPE Books form Hanser Publishers
- Escobar, L.A. 1998. Lara, A. 1998. Residuos agrícolas. Encuentro Medioambiental Almeriense, 1998ESSA Reciclados de México S. A. de C. V., 2008. <http://www.recimex.com.mx/cursos/tallerreciclado.html>
- Flores, V.J. 2008. Apuntes de Semiforzado de Cultivos. Especialidad en Agroplasticultura. Posgrado CIQA, Saltillo, Coahuila
- Frers, C. 2005. El Reciclado de Plásticos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República de Argentina. <http://www.ecoportal.net/content/view/full/39224>
- García, S. 2007. Lo ideal para aumentar el acopio de PET es la separación en el origen. Santiago García, Gerente General APREPET. En: Reciclaje. Los plásticos giran hacia la sustentabilidad. 12 Mayo, 2007. [www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php)

Garnaud, J.C. 2000. Etapas para la historia de los avances en plasticultura. Revista Plasticulture, No. 119, Vol. 1, II Epoca.

Hannequart, J-P. 2004. Reciclaje de Residuos Plásticos, Una Guía de Buenas Prácticas por y para las Autoridades Locales y Regionales.

Herbst H., Hoffman K., Pfaender R., Sitek F. Recycling and Recovery of Plastics. Improving the quality of Recyclates with Additives (Stabilizers). 1 ed. Hanser/Gardner. Munich, Alemania. 1996.

<http://html.rincondelvago.com/polimeros-sinteticos-y-naturales.html>. Polímeros sintéticos y naturales. Materiales. Plásticos. Propiedades mecánicas. Elasticidad. Elastómeros. Polimerización

<http://pslc.ws/spanish/pet.htm>. Polyesters. Departamento de Ciencia de Polímeros. Universidad del Sur de Mississippi.

<http://pslc.ws/spanish/pmma.htm>. Poly(methyl methacrylate). Departamento de Ciencia de Polímeros. Universidad del Sur de Mississippi.

[http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article\\_704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article_704.php)

<http://www.aniq.org.mx/cipres/historia.asp>. Antecedentes Históricos de los plásticos

<http://www.arrakis.es/~coag-irm/cd3.htm>. Inversiones Plásticas TPM Agrícola S.A. CIF A18475475. Polígono Industrial La Redonda, C/XIII, nº1. 04710 El Ejido (Almería)

[http://www.centroplastica.it/5%20Buenas%20Razones\\_file.htm](http://www.centroplastica.it/5%20Buenas%20Razones_file.htm). Cinco buenas razones para usar CiPiTENE, la calidad superior en Euripa del polietileno reciclado de alta densidad en gránulo

<http://www.cepla.com/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2796&refcompra=NULO>.

[http://www.domplas.com/tbl\\_bind.asp](http://www.domplas.com/tbl_bind.asp). Domino Plastics Company, Inc. 26 Hulse Road East Setauket, NY 11733. [domino@domplas.com](mailto:domino@domplas.com)

<http://www.ediho.es/cepla/euroagro/11/11.html>. Propuestas para la reducción y gestión de los residuos agrícolas en el poniente almeriense

<http://www.emison.com/5194.htm>.

[http://www.epr-italia.com/documents/File\\_pdf/Plastico.pdf](http://www.epr-italia.com/documents/File_pdf/Plastico.pdf).

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=584>. Molinos para plásticos

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?idarticulo=584>

[http://www.estrucplan.com.mx/boletines/003/Reciclado\\_plastico.asp](http://www.estrucplan.com.mx/boletines/003/Reciclado_plastico.asp)

<http://www.goldpress.com.br>. Molino de cuchillas para materiales plásticos TPL

[http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/plasticos4.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos4.htm). Plásticos en la Agricultura.

[http://www.inpev.org.br/es/institucional/el\\_inpev.asp](http://www.inpev.org.br/es/institucional/el_inpev.asp). Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias

<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=19215>. 2007. Una agricultura limpia y natural. 01/08/2007

<http://www.letsrecycle.com/plastics/prices/pricesarc01.htm>. US Plastic Recycling Index. Spot Market Prices: Tuesday September 09, 2008

<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDePlasticos>

[http://www.navarini.com/pet\\_recycling\\_sp.htm](http://www.navarini.com/pet_recycling_sp.htm). Reciclaje PET. Proceso Químico.

[http://www.neue-herbold.de/es\\_index.htm](http://www.neue-herbold.de/es_index.htm). Molinos Trituradores

[http://www.plastivida.com.ar/1\\_usos.htm](http://www.plastivida.com.ar/1_usos.htm). Plásticos y Medio Ambiente. Como se usa el PET

<http://www.pqa.com.co/reciclaje.php>. Productos Químicos Andinos

<http://www.psrc.usm.edu/spanish/pe.htm>

<http://www.psrc.usm.edu/spanish/pe.htm>.

<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosa/s/materiales/plamevaa.pdf>). Plan de Manejo de Envases Químicos y Afines (PLAMEVAA).

[http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id\\_sec=45&id\\_art=2109&id\\_ejemplar=79](http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=2109&id_ejemplar=79). Revista Teorema Ambiental.

<http://www.letsrecycle.com/plastics/prices/pricesarc01.htm>)

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc/reciclado>)

<http://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc/reciclado>. Miércoles 24/08/2005

IMPI. (Instituto Mexicano del Plástico). 2000. Enciclopedia del Plástico. 2ª. Edición

Investigación y Ciencia, N.º 228, septiembre de 1995.

Joüet, J-P. 2004. La Situación de la Plasticultura en el Mundo. Revista Plasticulture. No. 123:48-57. París, Francia.

Lemmens J. Recycling and Recovery of Plastics. Compatibilizers for Plastics. 1 ed. Hanser/Gardner. Munich, Alemania. 1996

López, G.J. y J. Salinas A. 1998. "Efectos ambientales del sistema de cultivos forzado". Documento de trabajo presentado en el Encuentro Medioambiental Almeriense. Almería 1998.

Márquez L. y M. Conde. 2007. Reciclaje. Los plásticos giran hacia la sustentabilidad. 12 Mayo, 2007. [www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php)

Matallana, A., Montero, J.I. Invernaderos: Diseño, Construcción y Ambientación. 1995. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Méndez, P.A. 2007. Reciclado de Plásticos. Posgrado CIQA. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila

Moreno, J.J. Sin Fecha. <http://www.arqhys.com/arquitectura/plastico-reciclaje.html>

Mundo Plástico. 2007. Plásticos en la agricultura: Historia que apenas comienza. 15 de Octubre de 2007. [http://www.todoenplastico.com/noticias/noticia.asp?id\\_noticia=111](http://www.todoenplastico.com/noticias/noticia.asp?id_noticia=111)

Munguía, J., R. Quezada, L. Ibarra, J. Flores, B. Cedeño y F. Hernández. 2003. Situación de la Plasticultura en México. Memorias del V Congreso Iberoamericano de Agroplasticultura. San José, Costa Rica.

Muñoz, G.R. 2007. Es necesario enlazar la parte académica y la investigación con la industria para generar más desarrollos que le den valor agregado a los productos recuperados. Rubén Muñoz García: Director General de CiPRES. En Reciclaje. Los plásticos giran hacia la sustentabilidad. 12 Mayo, 2007. [www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php)

- Noticiero Plástico. 1998. Revista Noticiero Plástico No. 431. Junio de 1998. Revista de Publicación Periódica. Buenos Aires, Argentina.
- Pacini, L. Applications for plastics in agriculture and horticulture in Italy. *Plasticulture* No. 60, Diciembre 1983.
- Peláez, F. Sin fecha. Los Plásticos. [www.monografias.com/trabajos5/plasti/plasti2.shtml](http://www.monografias.com/trabajos5/plasti/plasti2.shtml)
- Peña, G. A. Sin fecha. El Reciclaje. PRO AMBIENTAL-PERU S.A.C. <http://www.proambientalperu.com/reciclaje.doc>
- Plastic Waste Management Institute. 2004. An Introduction to Plastic Recycling. Chuo-ku, Tokio. <http://www.pwmi.or.jp>
- Reich, M. 2007. Para triunfar en el negocio de reciclado es necesario un buen control de la fuente de desperdicios. Martín Reich: Director General Recuperadora y maquiladora de Plásticos. En: Reciclaje. Los plásticos giran hacia la sustentabilidad. 12 Mayo, 2007. [www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php)
- Remez, J. 2006. Reciclaje de PET. Un plástico de siete vidas. [http://www.ambienteplastico.com/artman/publish/article\\_455.php](http://www.ambienteplastico.com/artman/publish/article_455.php)
- Repsol YPF. 2007. El uso de los plásticos en la agricultura. 27 de diciembre de 2007. [http://www.repsol.com/es\\_es/casa\\_y\\_hogar/energia\\_en\\_casa/reportajes/innova\\_energia/el\\_uso\\_de\\_plasticos\\_en\\_la\\_agricultura.aspx](http://www.repsol.com/es_es/casa_y_hogar/energia_en_casa/reportajes/innova_energia/el_uso_de_plasticos_en_la_agricultura.aspx)
- Sáenz, I. 2007. Otra vida para el plástico agrícola. Sevilla, España
- Schwarz, O. 2002. Ciencia de los Plásticos. 1ª. Edición en español. Grupo Editorial Costa Nogal.
- SIAP. Sistema de Información Agrícola y Pecuario (2005).
- Sosa, R. A.M. 2003. Los Plásticos: Materiales a la medida. [http://plastico\\_materiales2003.CIENTEC.pdf](http://plastico_materiales2003.CIENTEC.pdf)
- Treviño, J. 2007. En 2006 recuperamos 80,000 toneladas postconsumo. Jorge Treviño: Director General de ECOCE. En: Reciclaje. Los plásticos giran hacia la sustentabilidad. 12 Mayo, 2007. [www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article704.php)
- [www.aprepet.org.mx](http://www.aprepet.org.mx)

[www.cosmos.com.mx/h/csdt.htm?search=pulverizadores](http://www.cosmos.com.mx/h/csdt.htm?search=pulverizadores). Reduction International, LLC

[www.ereima.at/es/152](http://www.ereima.at/es/152)

[www.interempresas.net/plastico/feriavirtual](http://www.interempresas.net/plastico/feriavirtual)

[www.isve.com/sp/plastica.htm](http://www.isve.com/sp/plastica.htm)

[www.isve.com/sp/plastica.htm](http://www.isve.com/sp/plastica.htm). Trituradora "TRITOTUTTO" para plástico.

[www.mwk-kunststoff.org/wir-stellen-uns-vor.html](http://www.mwk-kunststoff.org/wir-stellen-uns-vor.html)

[www.plasticosmexicanos.com.mx](http://www.plasticosmexicanos.com.mx)

[www.plasticosmexicanos.com.mx](http://www.plasticosmexicanos.com.mx). Plásticos y Medio Ambiente. Polietilenos

Yeray, M. 2007. Proceso del reciclaje del plástico.  
<http://mundodelosplasticos.blogspot.com/2007/12/proceso-de-reciclaje-de-plastico.html>

Zesati, V.F. 2007. [http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article\\_704.php](http://www.ambienteplastico.com/suscriptores/article_704.php)