

00521
43



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**ESTUDIO GENERAL SOBRE EL SECTOR
DE RECICLAJE DE PLASTICOS EN
MEXICO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
DIEGO DURAZO CERECER



EXAMENES PROFESIONALES
MEXICO, D. F. FACULTAD DE QUIMICA 2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA

Jurado asignado:

Presidente	Rodolfo Torres Barrera
Vocal	Hilda Elizabeth Calderón Villagómez
Secretario	José Luis López Martínez
1er Suplente	Gabriel Baldomero Pérez
2do Suplente	Alfonso Durán Moreno

Este trabajo se realizó en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la dirección de:


Prof. Rodolfo Torres Barrera

Desarrollado por:


Diego Durazo Cerecer

Autorizo a la Dirección General de Biblioteca,
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso
el contenido de mi trabajo recepcionado:

NOMBRE: Diego Durazo

Cerecer

FECHA: 02/06/03

FIRMA: P.A. Elizabeth Villagómez

Agradecimientos:

A la Universidad y sus maestros por enseñarme más allá de las aulas.

Al ingeniero Torres Barrera por su apoyo y consejo en esta labor.

A mis amigos por el apoyo constante en todos los años de facultad y por el tiempo que vendrá. En especial a Alejandro por su ejemplo de tenacidad, a los Pablos por su constancia, a Juan por el humor inteligente, a Eduardo y Rafa por su cariño a la ciencia y a la UNAM y a Ingrid por enseñarme a ser feliz con las cosas sencillas.

A los Meyer, que son familia.

A Elena, por haber hecho este trabajo posible y siempre estar ahí.

A mi madre por su guía y a mis hermanos por su consejo.

A la memoria de mi padre.

1	RESUMEN	7
2	LOS PLÁSTICOS EN LA ACTUALIDAD	8
2.1	Acerca de los plásticos	8
2.1.1	Historia	8
2.1.2	Incidencia Económica	10
2.1.3	Acrónimos	12
2.2	Obtención	14
2.2.1	Materias primas	14
2.2.2	Reacciones de síntesis	14
2.2.3	Tipos de polimerización	17
2.3	Clasificación	19
2.3.1	Comportamiento a la temperatura	19
2.3.2	Polaridad	24
2.3.3	Clasificación por consumo en México	25
2.4	Modificación	26
2.4.1	Modificación química	27
2.4.2	Modificación física	29
2.5	Propiedades	30
2.5.1	Mecánicas	30
2.5.2	Térmicas	31
	Eléctricas	33
	Químicas	33
2.5.3	Absorción de humedad	33
	Permeabilidad	34
	Fricción y desgaste	34
2.6	Forma de presentación	34
2.7	PET una descripción general	35
2.8	Segmentación del consumo de plásticos	36
	Envase y empaque	37
	Consumo	37
	Adhesivos y recubrimientos	37
	Construcción	37
	Muebles	38
	Industrial	38
	Eléctrico y electrónico	38
	Transportación	38
	Otros	38
3	RECICLADO	39
3.1	Generalidades e Historia del Reciclado	39
3.1.1	Razones para reciclar	40
3.1.2	Fuentes de desperdicios plásticos	42
	Transformadores	43
	Comercios	44
	Basura Doméstica	44
3.2	Ciclo de Residuos Sólidos	45

Generación	46
Almacenamiento	46
Barrido, Recolección, Transporte y Transferencia	46
Barrido y Recolección	46
Transporte y Transferencia	46
Tratamiento	47
Producción y Comercialización	48
3.3 Separación y Reciclaie	48
Información Básica sobre los envases y embalajes	48
Separación de los materiales	49
3.4 Variables que intervienen en el Reciclado de Plásticos	51
El reciclaje como negocio	51
Factores de degradación de los polímeros	52
3.5 Análisis por tipo de plástico	54
Termoplásticos	54
Termofijos	54
4 PROCESOS DE RECICLAJE	59
4.1 Introducción	59
4.2 El Proceso Mecánico de Reciclaie	61
4.2.1 Después de la recuperación	61
4.2.2 Reciclado Comercial	63
4.3 Tecnologías avanzadas de reciclaje	67
4.3.1 Obtención de Intermediarios Químicos	68
4.3.2 Depolimerización	69
Perspectiva	72
4.4 Reciclados de durables	73
4.4.1 Retos y Oportunidades del Reciclado de Bienes Durables	74
5 AMBIENTE COMPETITIVO	76
5.1 Marco Legal	76
5.1.1 Desechos Sólidos y Sanidad	76
5.1.2 Programas del INE	77
5.2 Diferentes Mercados	79
5.2.1 Diferentes Propiedades	82
5.2.2 Diferentes Procesos	82
5.2.3 Aspectos Relativos a la Contaminación	82
5.3 Control de Calidad	85
5.3.1 Compactación y Empaque	85
5.4 Valor del Mercado – Oferta y Demanda –	87
5.4.1 Mercado de Exportación	88
5.4.2 Generación de residuos en México	89
5.4.3 Reciclamiento de residuos sólidos urbanos en México	92
6 CONCLUSIONES	95
7 BIBLIOGRAFÍA	96
Fuentes de información en la "Red Mundial de Computadoras"	98

FIGURAS

Figura 2.1 Consumo MUNDIAL de materias básicas	11
Figura 2.2 Valor económico de productos petroquímicos	12
Figura 2.3 Polimerización del etileno por radicales libres	15
Figura 2.4 Policondensación de Nylon 66	16
Figura 2.5 Obtención de poliuretano lineal por poliadición	17
Figura 2.6 Modelos estructurales	24
Figura 2.7 Clasificación por consumo de plásticos	25
Figura 2.8 Homopolímero	27
Figura 2.9 Copolímero	28
Figura 2.10 Diferentes tipos de Copolímeros	28
Figura 2.11 Estados de los termoplásticos amorfos	32
Figura 2.12 Estados de los termoplásticos cristalinos	32
Figura 2.13 PET	35
Figura 3.1 Mecanismos para la disminución de desechos plásticos	41
Figura 3.2 Diagrama del Ciclo de los Residuos Sólidos	45
Figura 3.3 Proceso de Separación de Residuos Sólidos	51
Figura 3.4 Variables para el negocio de reciclaje	52
Figura 3.5 Códigos de identificación de resinas de acuerdo con la SPI	57
Figura 3.6 Ciclo de Vida de Productos Plásticos	58
Figura 4.1 Proceso de reciclaje de alfombras (BASF)	66
Figura 4.2 PET	70
Figura 5.1 Normas Oficiales Mexicanas	78
Figura 5.2 Iniciativas Voluntarias (Autorregulación)	78
Figura 5.3 Propiedades y Ventajas de los Plásticos	84
Figura 5.4 Propiedades Específicas de los Plásticos más comunes	85
Figura 5.5 Propiedades de Almacenaje (Consideraciones de Logística)	87
Figura 5.6 Crecimiento de la Industria de procesamiento de botellas de plástico en EUA	89
Figura 5.7 Generación y manejo de residuos sólidos en México, 1995	89
Figura 5.8 Composición Promedio de los Residuos Sólidos Municipales en México 1995-2000	90
Figura 5.9 Proyección de Necesidades de Manejo de Residuos Sólidos	92
Figura 5.10 Erogaciones en Manejo y Disposición final de RSM	92
Figura 5.11 Situación Actual y Proyección del Reciclamiento de Residuos Sólidos Urbanos	93
Figura 5.12 Cuadro resumen de oportunidades de inversión en el mercado ambiental en México 1995-2010	94
TABLAS	
Tabla 2.1 Acrónimos para plásticos	13
Tabla 3.1: Uso de desechos industriales	43
Tabla 3.2 Composición de la Basura	44
Tabla 3.3 Tipos de degradación	53
Tabla 3.4 Resumen del uso de diferentes materiales plásticos antes y después del reciclaje	55
Tabla 3.5 Propiedades del PP	56

Tabla 3.6 Propiedades del PEAD	56
Tabla 3.7 Codificación de las principales familias de plásticos⁸⁰	57

1 Resumen

Con el crecimiento demográfico se ha observado en las áreas urbanas un consiguiente crecimiento en la generación de desperdicios sólidos sin uso o valor aparente e incluso un impacto particularmente desfavorable en la salud de los habitantes de las zonas cercanas a los depósitos de basura.

Estos residuos se han intentado manejar de distintas formas que van desde basureros municipales, incineradores de residuos, hasta rellenos sanitarios, ninguno ataca la verdadera raíz del problema. Hay residuos como los plásticos que por su naturaleza no se degradan, ni es posible su destrucción, ya que al incinerarlos generan gases tóxicos, sin embargo hay una manera de que estos residuos no se vuelvan dañinos para la población, su **REUTILIZACIÓN**.

En México, la reutilización de desperdicios, sobretudo los plásticos, es realmente nula, ya que involucra diversos factores, tales como educación, concientización, tecnología e infraestructura con las que no contamos para que se lleve a cabo el proceso de reciclaje y reutilización de los mismos.

Se requiere educación y una campaña de concientización, para que la gente conozca los beneficios y la importancia de separar los residuos basándose en el tipo de material con el que está hecho. La tecnología es de vital importancia ya que sin ella no se podrían reciclar los plásticos por lo que se volvería inútil separar los residuos y por último pero no menos importante es la infraestructura para recuperar los residuos ya separados y enviarlos al centro donde se reprocesaría, este es sin duda uno de los factores más costosos, pero si alguno de estos factores no se llevara a cabo, el reciclaje sería inútil.

Sin embargo la gradual concientización de los gobiernos y organizaciones privadas ante este problema y la posibilidad técnica de manejar y reutilizar desperdicios tales como cascarones de huevo, bolsas de plástico, recipientes de bebidas gaseosas y otros presentan una oportunidad para recuperar no sólo un mejor ambiente sino también capital de trabajo para una naciente industria en nuestro país.

En esta tesis se intentará presentar la actual situación del manejo de los residuos plásticos en México, además de como se manejan en países industrializados como referencia histórica y práctica para la posible industria del reciclaje de plásticos en México.

2 Los plásticos en la actualidad

2.1 Acerca de los plásticos

"Plásticos" es una palabra derivada del griego "*plastikos*" cuyo significado es: "Capaz de ser moldeado", sin embargo, esta definición dista mucho de describir con claridad la vasta variedad de tipo de materiales a la que se puede referir.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico que se forman por largas cadenas macromoleculares que contienen en su cadena carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

2.1.1 Historia

Los plásticos forman parte de la gran familia de los Polímeros, cuyo significado viene del latín "poli" que significa muchos y "meros" que significa partes. En la familia de los polímeros existen diferentes variedades de productos dentro de las cuales las más importantes por su uso generalizado son los adhesivos, recubrimientos y pinturas, entre muchos otros.

El desarrollo histórico de los plásticos inicia con el descubrimiento de que las resinas naturales podían emplearse para elaborar objetos de uso práctico. Resinas como el betún, la gutapercha, la goma laca y el ámbar son extraídas de ciertos árboles, no se sabe con certidumbre cuando empezaron a ser utilizadas, pero se tienen registros de que éstas ya formaban parte de la vida cotidiana de civilizaciones tan antiguas como la egipcia, babilónica, hindú y china. En América se conocía otro material utilizado por sus habitantes antes de la llegada de Colón, conocido como hule o caucho.

El hule y otras resinas presentaban algunos inconvenientes, y por lo tanto, su aplicación resultaba limitada. Sin embargo, después de muchos años de trabajos e investigaciones se llegaron a obtener resinas semisintéticas, mediante tratamientos químicos y físicos de resinas naturales.

La primera resina semisintética considerada como tal fue el hule vulcanizado, descubrimiento que data de 1839 cuando Charles Goodyear logró hacer reaccionar el azufre con la resina natural caliente. El producto obtenido resultó ser muy resistente a los esfuerzos mecánicos y a los cambios de temperatura.

El inventor inglés Alexander Parkes, a mediados del siglo XIX, obtuvo de forma accidental la nitrocelulosa, al estar trabajando con celulosa, ácido nítrico y sulfúrico obtuvo una reacción a la cual llamó "Parkesina", que con aceite de ricino se podía moldear. Sin embargo, debido su flamabilidad no tuvo éxito comercial.¹

¹ http://americancplasticscouncil.org/benefits/about_plastics/history.html

Alrededor de 1860, en los Estados Unidos surgió el primer plástico que tuvo un impacto comercial gracias a un concurso para encontrar un material para sustituir el marfil en la fabricación de las bolas de billar (en esa época se utilizaba tanto marfil que se sacrificaban 12 000 elefantes anualmente para cubrir la demanda). Los hermanos Hyatt estaban trabajando con el algodón tratado con ácido nítrico, siendo un producto muy peligroso que podía utilizarse como explosivo. Por lo que retomaron la idea de Parkes, así que sustituyeron el aceite de ricino por alcanfor y al producto obtenido le llamaron "Celuloide", el cual hizo posible la producción de varios artículos como peines, bolas de billar y películas fotográficas.

Otro plástico semisintético que tuvo buena aceptación comercial fue el que desarrollaron Krische y Spitteler en 1897, debido a la demanda de pizarrones blancos en las escuelas alemanas. Este material se fabricó a base de Caseína (proteína extraída de la leche) al hacerla reaccionar con formaldehído. Su principal aplicación fue la fabricación de botones.

En 1899 Leo H. Baekelan descubrió una resina considerada totalmente sintética, la "Baquelita", la cual se obtiene mediante la reacción del fenol con formaldehído.

Aunque en el siglo XIX se observó en diversos laboratorios que, por acción de la luz o del calor, muchas sustancias simples, gaseosas o líquidas se convertían en compuestos viscosos o incluso sólidos, nunca se imaginó el alcance que tendrían estos cambios como nuevas vías de obtención de plásticos.

El siglo XX puede considerarse como el inicio de "La Era del Plástico", ya que en esta época la obtención y comercialización de los plásticos sintéticos ha ido en incremento, impulsando el crecimiento de registros de patentes. Para ese entonces se encontraba en gran auge la química orgánica, cuyas aportaciones en este rubro fueron de gran importancia para el desarrollo de los plásticos sintéticos.

En 1907 salió al mercado la resina fenólica "Baquelita", mientras Staudinger trabajaba en la fabricación del "Poli estireno" y Otto Rhom enfocaba sus estudios al acrílico. Para 1930 estos dos últimos ya se producían industrialmente.

Por su parte el PVC, aunque había sido sintetizado desde 1872 por Bauman, fue hasta 1920 cuando Waldo Semon, mezclándolo con otros compuestos, obtuvo una masa parecida al caucho, iniciándose así la comercialización del PVC en 1938.

El químico Herman Staudinger, premio Nobel en 1953 por sus trabajos iniciados en 1920, demostró que muchos productos naturales y todos los plásticos contienen macromoléculas. Este descubrimiento hizo que se le considerara el "Padre de los Plásticos".²

Muchos laboratorios de Universidades y grandes Industrias Químicas concentraron sus esfuerzos en el desarrollo de nuevos plásticos, aprendiendo las técnicas para encausar y dirigir casi a voluntad las reacciones químicas.

Entre los años 1930 y 1950, hubo un gran auge de los plásticos ya que debido a la segunda Guerra Mundial, se tuvieron que desarrollar nuevos materiales que cumplieran con mejores propiedades, mayor resistencia, menor costo y que

² <http://www.nobel.se/>

tuvieran accesibilidad. Es en esta época que surgen plásticos como el Nylon, Polietileno de Baja Densidad y el Teflón en un sector de gran volumen.

Otro momento exitoso dentro de la historia de los plásticos fue en 1952, cuando K. Sieglar, premio Nobel en 1964 junto con G. Natta, descubren que el etileno en fase gaseosa era muy lento para reaccionar. Ambos logran su polimerización de manera más rápida por contacto con determinadas sustancias catalizadores a presión normal y temperatura baja. Por su parte G. Natta descubrió que estos catalizadores y otros similares daban lugar a un alto ordenamiento en las macromoléculas de los plásticos.³

La década de los sesenta se distinguió porque se lograron fabricar algunos plásticos mediante nuevos procesos, aumentando de manera considerable el número de materiales disponibles. Dentro de este grupo destacan las llamadas "resinas reactivas" como: Resinas Epoxi, Poli ésteres insaturados y principalmente Poliuretanos, que generalmente se suministran en forma líquida, requiriendo del uso de métodos de transformación especiales.

En los años siguientes el desarrollo se enfocó a la investigación química sistemática, con atención especial a la modificación de plásticos ya conocidos mediante espumación, cambios de estructura química, copolimerización, mezcla con otros polímeros y con elementos de carga y de refuerzo.

En los años setentas y ochentas se iniciaron la producción de plásticos de altas propiedades como las Polisulfonas, Poliarietercetonas y Polímeros de cristal líquido. Algunas investigaciones en este campo siguen abiertas.

Las tendencias actuales van enfocadas al desarrollo de catalizadores para mejorar las propiedades de los materiales y la investigación de las mezclas y aleaciones de polímeros con el fin de combinar las propiedades de los ya existentes.

2.1.2 Incidencia Económica

En la época actual resultaría difícil imaginar que alguno de los sectores de nuestra vida diaria, de la economía o de la técnica, pudiera prescindir de los plásticos. Basta con observar a nuestro alrededor y analizar cuantos objetos son de plástico para visualizar la importancia económica que tienen estos materiales.

Dicha importancia se refleja en los índices de crecimiento que se han mantenido a lo largo de algunos años y que tienen su inicio a principios de siglo, superando a casi todas las demás actividades industriales y grupos de materiales. En 1990 la producción mundial de plásticos alcanzó los 100 millones de toneladas y para el año 2000 se obtuvo una producción superior a los 160 millones de toneladas.⁴

Como se observa en la *Figura 2.1*, el consumo de plásticos sólo se encuentra por abajo del consumo del hierro y acero, pero debe tomarse en cuenta que estos

³ <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1963/natta-lecture.html>

⁴ <http://www.plasticsdataresource.org/>

tienen una densidad entre seis y siete veces mayor a la de los plásticos. Por esta razón, el volumen producido de plásticos fue mayor al de acero.

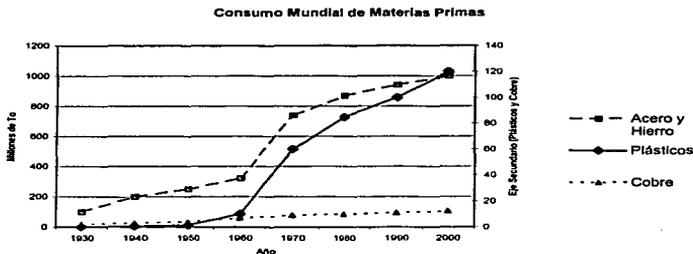


Figura 2.1 Consumo MUNDIAL de materias básicas⁵

Los plásticos seguirán creciendo en consumo, pues están abarcando mercados del vidrio, papel y metales debido a sus buenas propiedades y su relación costo-beneficio.

Actualmente, México es el tercer productor mundial de petróleo crudo, con alrededor de tres millones de barriles diarios⁶ 7. Esta producción podría alcanzar mayores utilidades convirtiéndose en productos petroquímicos y plásticos. Es decir, al invertir un millón de pesos en la extracción de petróleo se obtienen 800 mil pesos de utilidad. Invertir esa misma cantidad en petroquímicos genera 1.2 millones de pesos y al hacerlo en la transformación de plásticos se obtienen 15 millones de pesos.⁸

Esta es una de las razones del por qué los países industrializados, a pesar de no contar con petróleo tiene altos ingresos de divisas.

Además, dentro de los petroquímicos, las fibras y las resinas sintéticas representan el mayor valor económico en México, comparado con el volumen de fertilizantes, donde su costo de producción es muy alto y su utilidad muy baja (Figura 2.2).

⁵ <http://www.economia.gob.mx>

⁶ <http://www.pemex.com.mx/enprohidro.html>

⁷ Barnés de Castro, Francisco. 2002. Perspectivas y Oportunidades en el Sector Energético en México. México, DF: Subsecretaría de Política Energética y Desarrollo Tecnológico in http://www.energia.pob.mx/secundario/index_publica.html

⁸ The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), http://www.apme.org/topics/a_major_european_industry/industry.html and <http://www.americanplasticscouncil.org/benefits/economic/economic.html>

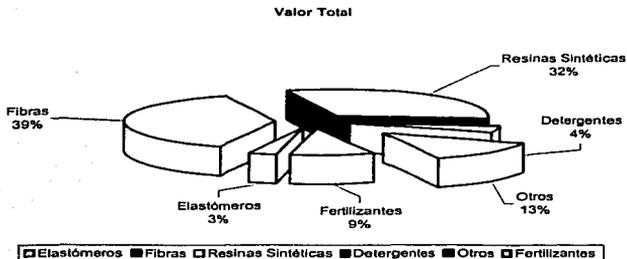
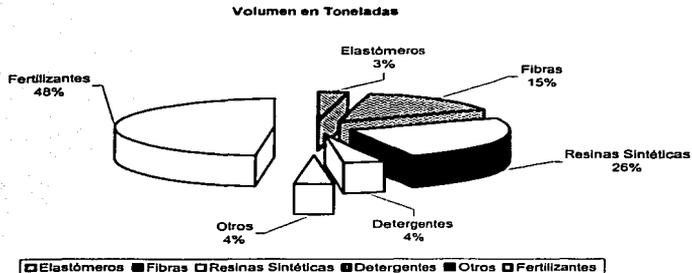


Figura 2.2 Valor económico de productos petroquímicos⁹

2.1.3 Acrónimos

La denominación de los plásticos se basa en los monómeros que se utilizaron en su fabricación, es decir, en sus materias primas.

En los homopolímeros termoplásticos se antepone el prefijo "poli" por ejemplo:

⁹ The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME),
http://www.apme.org/topics/a_major_european_industry/industry.html »

Monómero inicial – Metil Metacrilato

Nombre de polímero – Polimetil Metacrilato

Como se puede observar los nombres químicos de los polímeros con frecuencia son muy largos y difíciles de utilizar. Para aligerar este problema se introdujeron las "siglas" o acrónimos. Para el ejemplo citado: *Polimetil Metacrilato – PMMA*

La mayor parte de estos acrónimos han sido normalizados. Sin embargo, algunos han sido inventados por los fabricantes o surgieron de la misma actividad práctica. (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Acrónimos para plásticos¹⁰

ACRÓNIMO	PLÁSTICO
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
CA	Acetato de celulosa
EP	Epóxica
EPS	Poliestireno Expansible
EVA	Etil Vinil Acetato
HDPE	Poliétileno de Alta Densidad
LDPE	Poliétileno Baja Densidad
MF	Melamina Formaldehído
PA	Poliámidas
PB	Poli-butadieno
PBT	Poli-butilen Tereftalato
PC	Policarbonato
PEI	Poliésterimida
PES	Poliéster Sulfata
PET	Poliétilen-Tereftalato
PF	Fenol Formaldehído
PMMA	Polimetil Metacrilato
POM	Polióxido de Metileno
PP	Polipropileno
PPS	Poli-fenilen Sulfata
PS	Poliestireno
PTFE	Poli-tetrafluoroetileno
PUR	Poliuretano
PVC	Cloruro de Polivinilo
SAN	Estireno Acrilonitrilo
SB	Estireno Butadieno
TPE	Elastomero Termoplástico
TPU	Poliuretano Termoplástico
UHMW PE	Poliétileno Ultra Alto Peso Molecular
UF	Urea Formaldehído
UP	Poliéster Insaturado

¹⁰ adaptado de <http://www.americanplasticscouncil.org>

2.2 Obtención

2.2.1 Materias primas

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo, ya que de él se derivan los productos que originan diferentes tipos de plásticos. Es importante mencionar que también otras materias primas para la fabricación de plásticos son algunas sustancias naturales como la madera y el algodón de donde se obtiene la celulosa¹¹, así como otros plásticos se obtienen del carbón o gas natural. Todas las materias primas mencionadas tienen en común el hecho de contener Carbono (C) e Hidrógeno (H). También pueden estar presentes el Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S) o el Cloro (Cl).

En general, se consideran el etileno, propileno y butadieno como materias primas básicas para la fabricación de una extensa variedad de monómeros, que son la base de todos los plásticos.

En la siguiente sección se presentan los diferentes mecanismos químicos utilizados para la unión de las materias primas mencionadas, que es el punto de partida para la síntesis de resinas plásticas.

2.2.2 Reacciones de síntesis

Como se ha mencionado, los polímeros son el resultado de la modificación de productos naturales o bien de reacciones de síntesis partiendo de las materias primas más elementales.

Son reacciones químicas llevadas a cabo con un catalizador, calor o luz, en las cuales dos o más moléculas relativamente sencillas (monómeros) se combinan para producir moléculas muy grandes. A esta reacción se le llama "Polimerización".

Los plásticos se obtienen generalmente por vías sintéticas, las principales son tres¹²:

- Radicales libres
- Policondensación
- Poliadiición

¹¹ <http://sourcebook.plasticsresource.com>

¹² Kieffer, William. "Chemistry a cultural approach", Harper & Row NY, 1971. p 293.

2.2.2.1 Polimerización por radicales libres

En este tipo de reacciones el doble enlace entre los dos átomos de carbono juega un papel decisivo, ya que el proceso consiste en el acoplamiento de monómeros, mediante la apertura de sus dobles enlaces y la consiguiente unión de eslabones individuales para formar cadenas, sin que el proceso desprenda ningún producto secundario¹³.

En la figura 2.3 se explica el caso específico para del Polietileno.

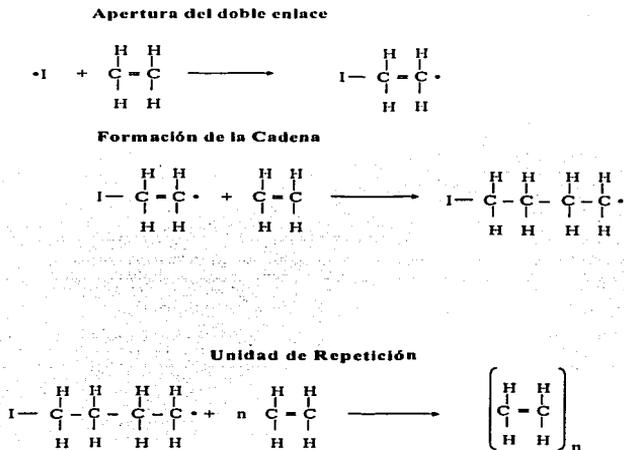


Figura 2.3 Polimerización del etileno por radicales libres¹⁴

¹³ <http://www.psrc.usm.edu/macrog/synlh.htm>

¹⁴ Kleffer, William. "Chemistry a cultural approach", Harper & Row NY, 1971. p 293.

2.2.2.2 Policondensación

Durante las reacciones de policondensación se pierden moléculas de agua. Este tipo de pérdida se conoce como condensación, de donde se deriva el nombre de este proceso.

Para que se lleve a cabo la reacción de policondensación es necesaria la participación de moléculas que posean dos grupos funcionales.

La formación del enlace entre dos moléculas tiene lugar sólo cuando existen dos grupos funcionales distintos, que reaccionan perdiendo partes de sí mismos y se condensan en forma de agua.

El ejemplo siguiente ilustra la reacción de policondensación para la obtención de Nylon 66, explicado en la figura 2.4, donde por cada unidad de polímero formado se desprenden dos moléculas de agua.

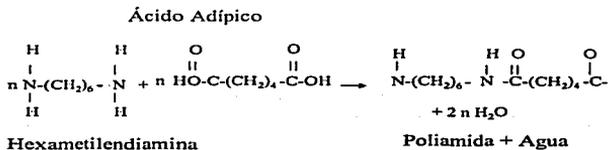


Figura 2.4 Policondensación de Nylon 66¹⁵

2.2.2.3 Poliadicción

La reacción de poliadicción ocurre de manera análoga a la policondensación.

La diferencia radica en que no se produce la pérdida de moléculas, sino que un átomo de hidrógeno migra de un grupo funcional a otro.

¹⁵ Kieffer, William. "Chemistry a cultural approach", Harper & Row NY, 1971. p 295

Para la formación de un enlace por adición, los monómeros iniciales tienen que ser por lo menos bifuncionales.

La poliadición tiene algunas ventajas sobre la polimerización por radicales libres y por policondensación, tales como:

- Rapidez
- Buena eficiencia
- Ausencia de subproductos

A continuación en la figura 2.5 se muestra un ejemplo de una reacción de poliadición para la obtención de poliuretano:

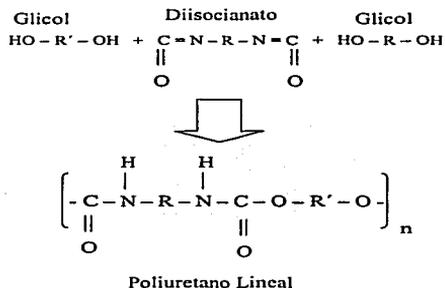


Figura 2.5 Obtención de poliuretano lineal por poliadición¹⁶

2.2.3 Tipos de polimerización

Existen cuatro métodos comúnmente usados para la fabricación de Polímeros:

- Polimerización en Masa.
- Polimerización en Solución.
- Polimerización en Suspensión.
- Polimerización en Emulsión.

¹⁶ Kieffer, William. "Chemistry a cultural approach", Harper & Row NY, 1971, p 296

2.2.3.1 Polimerización en Masa¹⁷

En este método se hace reaccionar el monómero puro con aditivos en un reactor. El calor de reacción hace generalmente que el polímero se mantenga en estado líquido fundido, normalmente a muy altas temperaturas, por lo que se requiere de refrigeración.

Este tipo de polimerización exige una gran vigilancia en el control de temperatura y se recomienda cuando se requieren polímeros especiales de alta pureza y calidad.

2.2.3.2 Polimerización en Solución¹⁸

En este caso el monómero se diluye en un disolvente con el catalizador. Debido a que la recuperación del disolvente es limitada, el procedimiento resulta caro y únicamente se recomienda cuando no se desean materias sólidas, sino sólo disoluciones. En este proceso la temperatura puede elevarse mucho por lo que es necesario un reactor con agitación.

Cuando se ha llevado a cabo la reacción, el producto de la polimerización se precipita formando un polvo fino que puede aislarse cuando se evapora el solvente.

2.2.3.3 Polimerización en suspensión¹⁹

Con este método se obtiene un producto de alta calidad. Aquí se mezclan el monómero y el iniciador dispersándose en agua mediante un sistema de agitación que mantiene la suspensión durante la reacción.

De este modo también se controla la temperatura y el producto obtenido tiene la forma de pequeñas perlas.

2.2.3.4 Polimerización en emulsión²⁰

En este caso, el monómero finamente dividido se emulsiona en agua o en otro líquido dispersante. Cuando se opera una gran cantidad de agua, a la que se ha adicionado el monómero junto con un aditivo emulsionante, puede controlarse muy bien la temperatura.

¹⁷ <http://www.chem.rochester.edu/~chem234/lecture2.pdf>

¹⁸ <http://www.chem.rochester.edu/~chem234/lecture2.pdf>

¹⁹ <http://web.umd.edu/~wlf/solution/>

²⁰ <http://www.psrc.usm.edu/macroc/emulsion.htm>

El desarrollo de la reacción es mucho más rápido que en los demás tipos de polimerización y se pueden obtener polímeros de mayor peso molecular.

Para comprender mejor estos conceptos, se incluyen a continuación algunas definiciones²¹:

- **Dispersión.-** Distribución de materias líquidas o sólidas. Sistema de dos o más sustancias, en el que una de ellas se encuentra dentro de la otra en un estado de división menos fino.
- **Emulsión.-** Sistema disperso líquido-líquido en el que una sustancia se encuentra distribuida en la otra en forma de pequeñas gotas.
- **Suspensión.-** Sistema disperso (sólido-líquido), en el que la parte dispersa consta de pequeñas partículas sólidas.

2.3 Clasificación

Hoy en día existen varios tipos de plásticos, por ello, su comportamiento y características son determinantes para su uso.

Los criterios de clasificación deben evaluar a los distintos plásticos según sus propiedades, comportamiento en la transformación o su aplicación, es decir, aspectos que puedan usarse en la práctica.

2.3.1 Comportamiento a la temperatura

Con base en este criterio, los polímeros se clasifican en **Termoplásticos, Termofijos y Elastómeros**.

2.3.1.1 Termoplásticos

Incluyen polímeros como Polietileno, PVC y Polipropileno. Consisten en macromoléculas lineales o ramificadas, unidas unas con otras mediante fuerzas intermoleculares.

Los termoplásticos se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor, se disuelven o por lo menos se hinchan al contacto con solventes.

En este estado sólido pueden deformarse permanentemente después de aplicar una fuerza. Esto se debe a que sus macromoléculas están libres o sueltas unas de otras y pueden deslizarse entre sí ante la aplicación de calor. A temperatura

²¹ <http://web.umr.edu>

ambiente pueden ser blandos o duros, frágiles y rígidos. Su comportamiento se deriva de la propia estructura molecular ya que las moléculas tienen forma de cadena abierta o de hilos.

La capacidad de los termoplásticos de reblandecerse o fundirse tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo pueden moldearse por calor, es decir, una lámina o un tubo pueden pasar a un estado elástico, similar al de la goma blanda, y adquirir nueva forma después de enfriarla en un molde. Los termoplásticos pueden soldarse y por sus propiedades hacen posible el reciclaje²².

Las desventajas consisten en que el reblandecimiento provocado por el calor limita en gran manera sus temperaturas de uso, sobre todo cuando se someten a la acción simultánea de fuerzas mecánicas. Los termoplásticos se subdividen en amorfos y semicristalinos.

a) Amorfos

Los termoplásticos amorfos se caracterizan porque sus moléculas ramificadas están en completo desorden. Este arreglo molecular permite el paso de la luz, razón por la cual los plásticos amorfos son transparentes o translúcidos generalmente.

b) Semicristalinos

El orden molecular de los plásticos semicristalinos es relativamente bueno. En él se encuentra cierto paralelismo dentro de los filamentos moleculares y sus ramificaciones más cortas.

El ordenamiento en los tramos de macromoléculas paralelas equivale al ordenamiento de átomos o moléculas en forma de cristales, los cuales se oponen al paso de la luz y provocando una apariencia lechosa.

2.3.1.2 Termofijos

Los plásticos que se mantienen rígidos y sólidos a temperaturas elevadas se denominan termofijos²³. Se obtienen por reticulación de productos líquidos de bajo peso molecular. Están reticulados en todas direcciones y debido a esta estructura no son moldeables plásticamente, son infusibles y resisten altas temperaturas, no pueden ser disueltos y muy raramente se hinchan.

A temperatura ambiente los materiales termofijos generalmente son duros y frágiles. Debido a que no se funden no son reciclables.

²² The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *Le recyclage des matières plastiques, une activité économique dans toute sa complexité* », 1991, 12 p.

²³ The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *Le recyclage des matières plastiques, une activité économique dans toute sa complexité* », 1991, 16 p.

2.3.1.3 Elastómeros

Son materiales elásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar una fuerza sobre ellos. Son insolubles y no se pueden fundir mediante la aplicación de calor, es decir pueden descomponerse químicamente cuando se calienta más allá de su temperatura máxima de servicio²⁴.

El comportamiento de estos materiales se debe a que las macromoléculas de elastómeros, en contraste con las de termoplásticos, están entrecruzadas por enlaces químicos.

Los elastómeros se producen a partir de formulaciones que incluyen gran variedad de ingredientes que se mezclan para formar un compuesto. Estos compuestos generalmente son masas viscosas y pegajosas porque utilizan el elastómero sin curar.

Durante la vulcanización o reticulación, las cadenas moleculares del polímero se unen mediante enlaces químicos amplios. El desperdicio de los productos reticulados, en términos prácticos, no puede ser reciclado.

2.3.1.4 Elastómeros termoplásticos

Este grupo de materiales combina propiedades especiales de los elastómeros con las posibilidades de transformación de los termoplásticos. Son copolímeros en bloque y aleaciones entre polímeros que poseen propiedades elásticas dentro de cierto rango de temperatura.

Las propiedades elásticas se deben a la existencia de enlaces físicos provocadas por fuerzas intermoleculares secundarias, tales como uniones de hidrógeno.

Cuando se calientan arriba de ciertos intervalos de temperatura los enlaces intermoleculares desaparecen y se restituyen inmediatamente después de que se enfrían, para desarrollar sus propiedades elastoméricas²⁵.

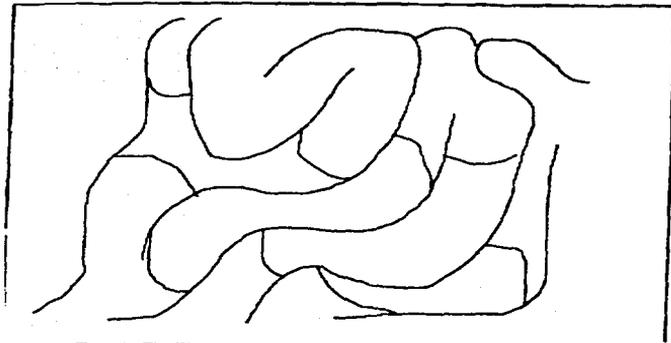
Los elastómeros termoplásticos, llenan un hueco entre los polímeros termoplásticos y los elastómeros reticulares. Pueden ser procesados e incluso reciclados de manera similar a los materiales termoplásticos, sin necesidad de vulcanización.

Para tener una mejor explicación en la figura 2.6 se muestran los modelos estructurales.

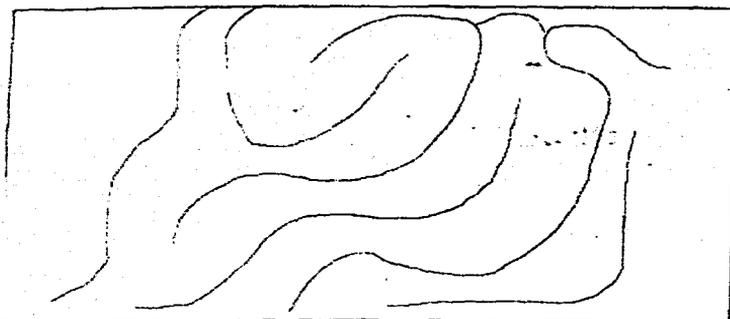
²⁴ <http://www.lcmcb.u-bordeaux.fr/duquet/helm-eg2.pdf>

²⁵ Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." *Chapman & Hall*, 1991

Modelos Estructurales



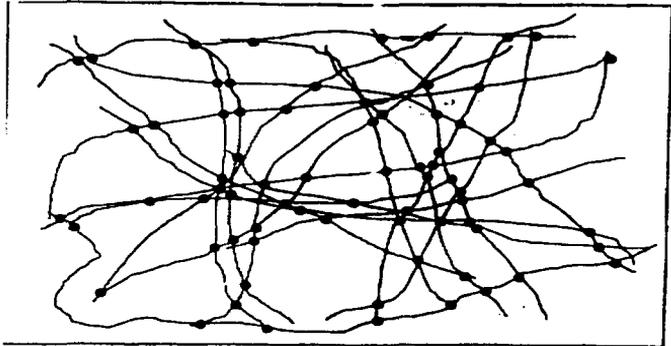
Modelo Estructural de Elastómero



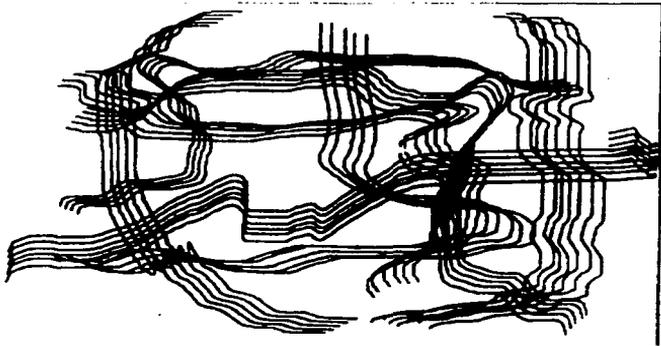
Modelo Estructural de Elastómero Termoplástico

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Modelos Estructurales

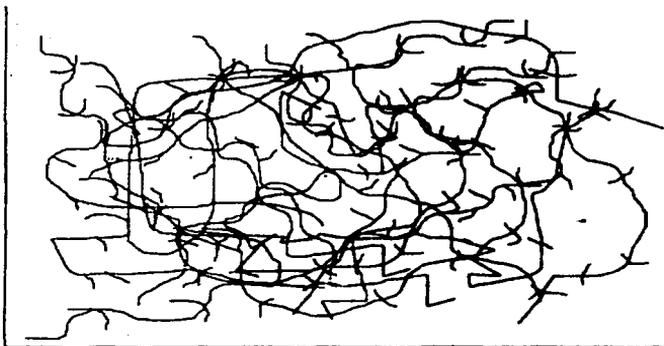


Modelo Estructural de Termofijo



Modelo Estructural de Termoplástico Semicristalino

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Modelo Estructural de Termoplástico Amorfo

Figura 2.6 Modelos estructurales²⁶

2.3.2 Polaridad

La polaridad de los compuestos orgánicos se debe al desplazamiento de los electrones compartidos entre los átomos de dos distintos elementos que constituyen la molécula, debido principalmente a las diferencias de número atómico²⁷. El par de electrones compartido es atraído con mayor fuerza por el átomo que presente mayor fuerza en el núcleo. A medida que aumenta la polaridad, aumentan también los valores de las propiedades como resistencia mecánica, dureza, rigidez, resistencia a la deformación por calor, absorción de agua y humedad, resistencia a solventes y aceites minerales, permeabilidad al vapor de agua, adhesividad y adherencia sobre piezas metálicas y la cristalinidad²⁶.

Por otro lado, cuando la polaridad aumenta, disminuyen las propiedades de dilatación térmica, poder de aislamiento eléctrico, la tendencia a acumular cargas electrostáticas, la permeabilidad a gases no polares como O₂, N₂, CO₂²⁶.

²⁶ <http://www.lcmcb.u-bordeaux.fr/duquet/noim-od2.pdf>

²⁷ Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." Chapman & Hall, 1991

Ejemplos de esta clasificación son:

- Alta polaridad: Poliamidas, Poliuretanos, Esteres de celulosa, Polifluoruro de vinilo, Polifluoruro de vinilideno y Plásticos termofijos.
- Polaridad media: Estireno-Acrilonitrilo, Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno, Policloruro de vinilo y sus copolímeros, Termoplásticos tipo éster, Poliamidas.
- Polaridad baja: Copolímeros de etileno y ésteres insaturados (EVA), Etileno-Tetrafluoroetileno, Polióxido de fenileno.
- No polares: Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, Politetrafluoroetileno.

Los dipolos pueden anularse por efectos direccionales. Un ejemplo lo tenemos en el grupo C-H dentro del conjunto H-C-H, que no contribuye a la polaridad ya que están en estado opuesto y se anulan. Esto explica por qué el Polietileno y el Polifluorotetraetileno no son polares²⁸.

2.3.3 Clasificación por consumo en México

Aunque resulta un poco subjetiva, la clasificación por consumo agrupa a los plásticos de acuerdo a su importancia comercial y sus aplicaciones en el mercado. En el esquema 2.7 se muestra una pirámide, según esta clasificación; en la base se encuentran los plásticos de mayor consumo denominados *Commodities*, seguidos de los *Versátiles*, *Técnicos* y *Especialidades*. Solamente se mencionan las siglas de los plásticos más importantes en el ámbito comercial.

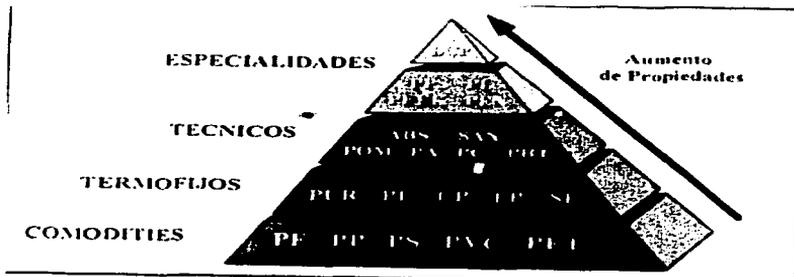


Figura 2.7 Clasificación por consumo de plásticos²⁹

²⁸ Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." Chapman & Hall, 1991

²⁹ <http://www.sma.df.gob.mx/sma/rnaasr/pe/06plasticos.htm>

2.3.3.1 Commodities

Los plásticos más utilizados que tienen buenas, aunque no sobresalientes propiedades, y su precio es de un nivel moderado se conocen como "commodities" donde se incluyen el Polietileno, PVC, Polipropileno, Poliestireno y PET.

2.3.3.2 Versátiles

Existe también un grupo de plásticos intermedio en consumo que es útil para el diseño de productos que requieren de mucha creatividad, principalmente en aspectos de apariencia, color, forma. Incluyen plásticos como el Acrílico, Poliuretano y el grupo de Plásticos termofijos como el Silicón, Resinas Poliéster y Epóxicas.

2.3.3.3 Técnicos o de Ingeniería

Los Plásticos que presentan un alto desempeño funcional con un conjunto de propiedades tales como resistencia mecánica y límites de temperatura elevados. Estos son además, significativamente más caros y en este grupo se incluyen a las Poliámidas, Poliacetales, Policarbonato y Poliéster termoplástico.

2.3.3.4 Especialidades

Los polímeros denominados como "especialidades" normalmente son asociados con una o más propiedades sobresalientes, por ejemplo, bajo índice de fricción, elevada resistencia dieléctrica, y sobre todo un elevado precio por lo que ocupan el menor porcentaje en el consumo global de plásticos.

2.4 Modificación

La industria consumidora de plástico ha planeado sus propias demandas de calidad a los fabricantes de piezas de plástico. Tales demandas de calidad pueden ser resistencia al impacto, resistencia a la deformación por calor, estabilidad dimensional, valores de aislamiento eléctrico, resistencia química, resistencia a la intemperie, retardancia a la flama, procesabilidad y especialmente el precio³⁰.

Para cumplir estas exigencias, los fabricantes de resinas y los transformadores disponen de diferentes alternativas:

- Modificación química.
- Modificación física.
- Modificación con aditivos.

³⁰ Luis Avendaño, "Iniciación a los plásticos" Centro Español de Plásticos, 1992

2.4.1 Modificación química

De manera general, las reacciones de síntesis utilizadas para producir los polímeros pueden ser dirigidas casi a voluntad, con esto se pueden controlar los parámetros más importantes de las macromoléculas como la longitud de las cadenas, la distribución del peso molecular, el grado de ramificación y la cristalinidad, los cuales inciden directamente en el comportamiento físico, químico y de procesamiento de los plásticos obtenidos por síntesis³¹.

De acuerdo a la cantidad de monómeros presentes en el proceso de polimerización se distinguen dos tipos de polímeros:

- Homopolímero.
- Copolímero.

2.4.1.1 Homopolímero

Es un polímero obtenido de un solo tipo de monómero. La reacción para su obtención se lleva a cabo, a través del uso de agentes químicos llamados iniciadores, por ejemplo: Peróxidos orgánicos, bajo ciertas condiciones de calor y presión. Los homopolímeros se ven ilustrados en la figura 2.8



Figura 2.8 Homopolímero³²

³¹ Miller, Andrew. January 3, 1994. "Back to Basics." *Chemistry and Industry*. B-9.

³² Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." *Chapman & Hall*, 1991

2.4.1.2 Copolímero

Cuando en la polimerización participan dos o más monómeros de diferentes tipos se obtienen plásticos denominados copolímeros. Estos se muestran en la figura 2.9.

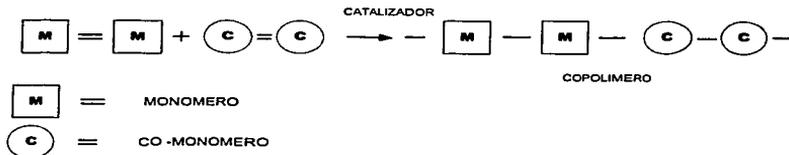


Figura 2.9 Copolímero³³

De acuerdo al arreglo que toman los diferentes monómeros en la cadena polimérica se tienen los siguientes tipos de copolímeros³⁴:

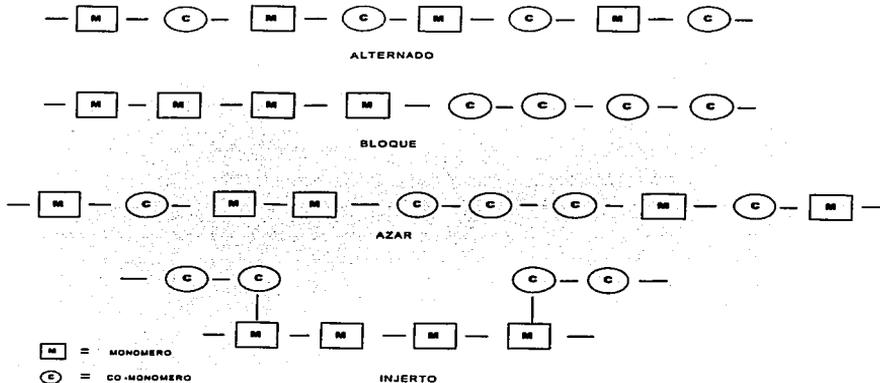


Figura 2.10 Diferentes tipos de Copolímeros

³³ Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." Chapman & Hall, 1991

³⁴ I.M.Campbell, "Introduction to the synthetic Polymers"Oxford Science Pub., 1994

Los polímeros resultantes sufren cambios en sus propiedades en función del porcentaje de monómero utilizado y su arreglo, siendo posible modificar en menor o mayor grado muchas propiedades físicas, químicas y de proceso de transformación³⁴.

Otras modificaciones químicas se pueden lograr mediante reacciones químicas que alteran la estructura del polímero y por lo tanto sus propiedades. Ejemplos de estas modificaciones son las reticulaciones, la cloración, la fluoración y la sulfonación de superficies plásticas³⁵.

2.4.1.3 Modificación con aditivos

El hecho de incorporar aditivos antes de la transformación de los plásticos es una práctica necesaria.

En realidad un plástico es un polímero en conjunto con pequeñas cantidades de otras sustancias como son catalizadores y emulsificantes. Posteriormente es necesario utilizar aditivos que tienen el objetivo de mejorar sus propiedades y facilitar su transformación.

Las funciones de los aditivos y la cantidad de estos es muy grande, y en la actualidad juegan un papel muy importante para que los productos terminados de plástico cumplan con las especificaciones que el mercado demanda.

Sin embargo su mención específica rebasa los objetivos del presente trabajo.

2.4.2 Modificación física

Una de las modificaciones físicas para los plásticos es la mezcla de varios polímeros. La mezcla es conocida en el mercado como "blend" o "aleación" de polímeros. Es frecuente que la mezcla esté formada por componentes incompatibles, es decir, en varias fases.

Para que la mezcla sea coherente y más o menos homogénea se agregan compatibilizadores. Puede suceder que las mezclas de polímeros tengan propiedades especiales que ninguno de sus componentes posea y generalmente se buscan resultados de sinergia³⁶.

Otros procesos de modificación física consisten en aumentar el ordenamiento de las moléculas. Esto se puede lograr mediante un proceso de "Orientación" y el "Estirado"³⁶.

Algunos productos de plástico como láminas, película o cuerpos huecos como botellas sopladas, se someten a un estiramiento durante el proceso de la fabricación, aplicándoles fuerzas cuyo efecto consiste en el alineamiento de las macromoléculas en estado termoelástico, preferentemente en la misma dirección

³⁵ <http://mailweb.udlap.mx/~aleph/alephzero4/tradiciale.html>

³⁶ I.M.Campbell. "Introduction to the synthetic Polymers"Oxford Science Pub., 1994

del estiraje, con esta operación se aumenta la resistencia mecánica, la transparencia y la barrera a los gases³⁵.

2.5 Propiedades

La estructura interna de los Plásticos determina sus propiedades fundamentales. Por ejemplo, los plásticos son malos conductores del calor y de la electricidad, es decir, son aislantes y esto se debe a que sus enlaces son por pares de electrones y no disponen de electrones libres.

Tienen densidades más bajas que otros materiales y una serie de características que se describen brevemente a continuación.

2.5.1 Mecánicas

Al comparar la estructura de un metal y de un plástico podemos observar que el metal presenta una estructura más compacta y que las fuerzas de unión son distintas a las existentes en los plásticos.

La diferencia es que los plásticos tienen una estructura molecular y los metales una estructura atómica. Por esta razón los plásticos presentan una resistencia mecánica relativamente menor, dependencia de las propiedades mecánicas con el tiempo, dependencia de la temperatura (termoplásticos principalmente), gran sensibilidad al impacto aunque en este punto existen grandes diferencias y toda una gama de comportamientos del Poliestireno quebradizo al resistente Policarbonato³⁷.

Los termofijos, debido a sus reticulaciones, carecen de deslizamiento interior y eso hace que sean más quebradizos que los termoplásticos.

Por su parte algunos termoplásticos como el Polipropileno, el Nylon, el Polietileno y los Poliésteres lineales, pueden someterse a estirado, con lo cual las moléculas se orientan en la dirección del estirado³⁸.

La fuerza del enlace de valencias se deja notar en este fenómeno, lo cual se manifiesta en extraordinaria resistencia³⁷.

El comportamiento de deformación y recuperación interna de los plásticos le confiere una gran propiedad llamada memoria³⁷.

Por otra parte, el comportamiento mecánico de los plásticos reforzados, varía en función de la cantidad, tipo de cargas y materiales que contienen³⁷.

³⁷ Luis Avendaño. "Iniciación a los plásticos" Centro Español de Plásticos, 1992

³⁸ G.Challa. "Polymer chemistry An Introduction" Ellis Horwood, 1993

2.5.2 Térmicas

Como otras propiedades el comportamiento térmico de los plásticos también es función de su estructura; los plásticos termofijos son quebradizos a lo largo de todo el intervalo de temperaturas, no reblandecen y no funden; un poco por debajo de su temperatura de descomposición T_z se observa una pérdida de rigidez.

Los termoplásticos se vuelven quebradizos a bajas temperaturas que son específicas para cada uno de ellos. Si las temperaturas aumentan, se produce un descenso constante en el módulo de elasticidad, es decir disminuye la rigidez.

Al aplicar calor continuo a los termoplásticos amorfos (figura 2.11), sufren un reblandecimiento, es decir, la transición a un estado termoplástico. En esta zona, con pequeñas fuerzas se provocan grandes deformaciones; si se sigue calentando se incrementa la movilidad térmica de las moléculas provocando que las cadenas puedan deslizarse unas frente a otras. Esta zona limita con la temperatura de descomposición.

Los termoplásticos semicristalinos poseen fragmentos amorfos (flexibles) en el intervalo de temperaturas de uso así como cristalinos (rígidos), (figura 2.12).

Al aumentar la temperatura es posible moldearlos cuando los fragmentos cristalinos alcanzan el intervalo de la temperatura de fusión. Inmediatamente sigue el estado termoplástico y al seguir aumentando la temperatura este estado e caracteriza por la transparencia que adopta el plástico antes opaco. Esta zona limita la zona de descomposición del plástico³⁸.

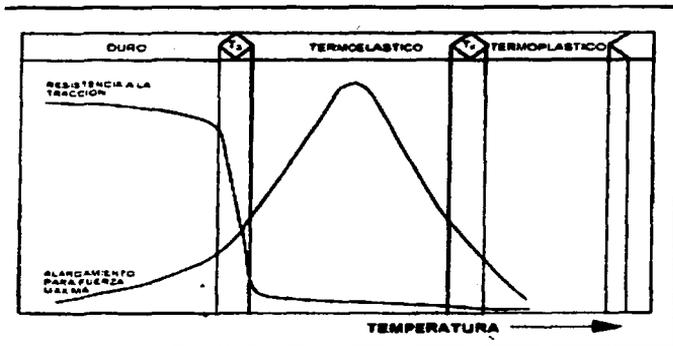


Figura 2.11 Estados de los termoplásticos amorfos³⁹

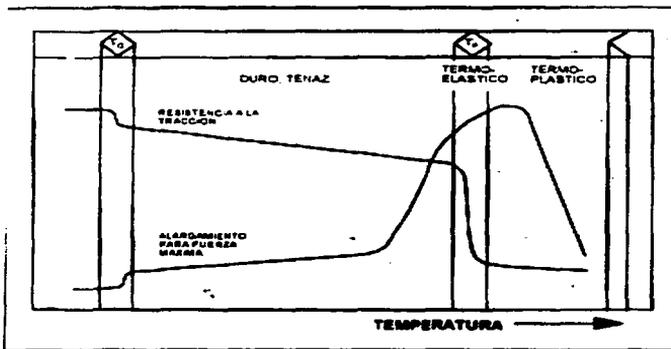


Figura 2.12 Estados de los termoplásticos cristalinos³⁹

Por su misma estructura sufren una dilatación volumétrica relativamente importante con el aumento de temperatura. En los plásticos reforzados esta dilatación es menor y está en función del tipo y cantidad del material de refuerzo.

³⁹ M.A.Ramos & M.R.De María "Ingeniería de los materiales plásticos" Díaz de Santos., 1988

Como ya se mencionó, los electrones de los plásticos carecen de movilidad, por ello son materiales con conductividad térmica baja, siendo aislantes térmicos.

Eléctricas⁴⁰

Ya que los plásticos no disponen de electrones libres móviles, tienen un buen comportamiento como aislantes, es frecuente utilizarlos en la industria eléctrica y electrónica, por ejemplo, para carcasas, aislantes, enchufes, recubrimiento de cable y alambre, entre otros. Por todo esto, son importantes las siguientes propiedades eléctricas:

- Resistencia Superficial.
- Resistencia Transversal.
- Propiedades Dieléctricas.
- Resistencia Volumétrica.
- Resistencia al Arco.

Químicas

En términos generales, por ser los plásticos materiales inertes (no reactivos) frente a la mayoría de las sustancias líquidas, sólidas y gaseosas comunes, muestran mejores propiedades químicas que los materiales tradicionales como papel, madera, cartón y metales.

Los plásticos continúan mostrando crecimientos en aplicaciones que requieren contacto con diversos tipos de solventes y materiales corrosivos, aún en los que anteriormente se utilizaba el vidrio, donde lo más importante es seleccionar el tipo de plástico ideal tomando en cuenta las condiciones de presión, temperatura, humedad, intemperismo, y otras que puedan acelerar algún proceso de degradación o disolución⁴¹.

2.5.3 Absorción de humedad

Esta propiedad es distinta para los diferentes tipos de plásticos, consiste en la absorción de humedad presente en el aire o por la inmersión en agua, siendo un factor importante el grado de polaridad de cada plástico. Por ejemplo, los plásticos no polares como PE, PP, PS, PTFE absorben muy poca agua. En cambio los plásticos polares como las Poliamidas o los Poliésteres termoplásticos, absorben gran cantidad de ella; en el caso de los dos últimos se requiere de secado antes

⁴⁰ J.M.G.Cowie. "Polymers: Chemistry & physics of modern materials" Intertext Books, 1973

⁴¹ Edward A.Muccio. "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994

de procesarlos y de un acondicionamiento en las piezas recién inyectadas para que alcancen un grado de humedad determinado.

En estos materiales el porcentaje de humedad afecta las propiedades finales de las piezas fabricadas⁴².

Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad que tiene gran importancia en la utilización de los plásticos del sector envase, por ejemplo, en láminas, películas y botellas.

La permeabilidad frente a gases y vapor de agua es un criterio esencial para la selección del tipo de material, según el producto a envasar: alimentos, frutas frescas, bebidas carbonatadas, embutidos y otros. Además del tipo de plástico, la permeabilidad también depende del grosor y de la temperatura⁴³.

En la mayoría e los casos se requiere que los materiales plásticos eviten el paso e determinados gases como el CO₂, el NO₂, el vapor de agua y otros, pero también se encuentran casos en que es importante que se permita el paso de sustancias como O₂ en el caso de legumbres y carnes frías que lo requieren para conservar una buena apariencia.

Fricción y desgaste

El comportamiento de los plásticos ante la fricción es muy complejo y se caracteriza por la interacción de los materiales involucrados, es decir factores tales como: la estructura superficial, el lubricante, la carga específica y la velocidad de desplazamiento. Una aplicación típica son los rodamientos, los más importantes están formados por el par plástico-acero⁴³.

Un fenómeno a considerar en este caso es el desprendimiento de calor a través del elemento metálico. Por esta razón sólo tienen sentido los datos de coeficientes de fricción referidos a pares de materiales específicos⁴⁴.

2.6 Forma de presentación

Existe una gran variedad de procedimientos de transformación de plásticos, cada uno de los cuales es resultado de la adaptación a las necesidades concretas de cada material y de las piezas que se desean obtener. Los polímeros termoplásticos se presentan en diversas formas:

- Polvos (1 – 100 µm).
- Pastas.

⁴² Edward A. Muccio. "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994

⁴³ M.A. Ramos & M.R. De María "Ingeniería de los materiales plásticos" Diaz de Santos., 1988

⁴⁴ Edward A. Muccio. "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994

- Pellets (3mm aprox.) (Cubos, Lentejas, Cilindros)
- Aglomerados.
- Granulados.

Ciertos procesos requieren formas específicas de la materia prima y en algunos casos, el manejo, almacenamiento y sistemas de alimentación y dosificación son las que determinan la elección⁴³.

Generalmente los polímeros utilizados como materia prima se envasan en sacos de 25 Kg o en tambores de 100 Kg, a veces se encuentran presentaciones en cajas de cartón y contenedores de hasta 500 Kg. Son transportados a granel en carros tanque con cargas de 15 toneladas o en carros de ferrocarril desde 40 a 80 toneladas. El abastecimiento de materia prima a granel normalmente se almacena en silos de 7 m de diámetro y 20 m de altura y es transportada a los equipos de transformación mediante sistemas neumáticos.

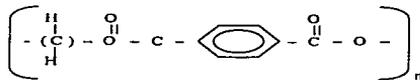
Las resinas termofijas en forma de polvos se abastecen comúnmente en sacos, las pastas y resinas líquidas en tambores y carros tanque.

Los elastómeros se venden en forma de bloques para formular compuestos. Algunos son pastas y otros se presentan en forma de escamas⁴⁵.

2.7 PET una descripción general

El Polietilén-Tereftalato es un poliéster termoplástico. La característica de este tipo de plásticos es la presencia de eslabones éster CO-O. Estos grupos pueden destruirse con la presencia de moléculas de agua a elevadas temperaturas generando una reacción de hidrólisis, por lo que estos plásticos deben de procesarse en un estricto estado seco.

A temperatura ambiental no se ven afectados por la humedad y la baja absorción de agua contribuye a su estabilidad.



Polietilén Tereftalato

Figura 2.13 PET³³

⁴⁵ <http://www.enrepet.org.mx>

El PET fue introducido y es aún muy utilizado como fibra textil e industrial.

El crecimiento comercial de este producto como botella y tarro ha sido sorprendente, principalmente en el envase de alimentos y bebidas carbonatadas, por el buen balance de propiedades de impermeabilidad a gases tales como dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, y de resistencia química y mecánica.

Existen también películas que se utilizan en el envase de alimentos, generalmente en combinación con otros plásticos en laminaciones y coextrusiones, aunque su aplicación más importante es para películas fotográficas y cintas magnéticas para audio, video y cómputo, así como para aislamiento eléctrico.

Otra aplicación muy importante para el PET, es que existen grados que permiten su uso como plástico de ingeniería para productos donde la resistencia térmica y dieléctrica, así como su apariencia superficial de alto brillo, son importantes, por ejemplo carcazas de planchas para el hogar, tapas de distribuidor de automóvil y diversos dispositivos para uso eléctrico sustituyendo gran parte de las aplicaciones de las resinas fenólicas.

Los grados de ingeniería generalmente se formulan con aditivos retardantes a la flama, fibras y cargas que imparten mejores propiedades de resistencia térmica y mecánicas al polímero.

La propiedad más singular del PET es que, debido a que muestra una baja temperatura de transición vítrea ($T_g = 70\text{ }^\circ\text{C}$), se puede controlar el grado de cristalinidad del polímero mediante el proceso de transformación, es decir, que si se enfría razonablemente rápido desde su estado fundido, arriba de $270\text{ }^\circ\text{C}$, hasta una temperatura menor a la de transición vítrea, solidifica un estado amorfo obteniéndose un producto de apariencia transparente.

Contrariamente, si el producto se calienta más allá de la temperatura de transición T_g , tomará lugar la cristalización y como consecuencia el producto moldeado será opaco.

Para muchas aplicaciones el PET se procesa primero en estado amorfo y después se le proporciona una orientación uniaxial cuando se fabrican fibras, cintas y lámina, o biaxial para películas, botellas y tarros⁴⁶.

6

2.8 Segmentación del consumo de plásticos⁴⁵

La segmentación utilizada se ha definido de acuerdo a la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI)⁴⁷, con el objetivo de uniformizar conceptos. Para cada mercado se incluyen las siguientes aplicaciones:

⁴⁶ <http://www.aprepel.org.mx/>

⁴⁷ <http://www.americanplasticscouncil.org>

Envase y empaque

Es el sector más importante del consumo de plásticos. A continuación se presenta la distinción entre envase, empaque y embalaje.

- **Envase**
 - Material rígido o flexible que almacena, protege y está en contacto directo con el producto.
 - Incluye: botellas, tarros, vasos, charolas, películas flexibles para hacer bolsas, cubetas, baldes, tapas, tambores, barriles.
- **Empaque**
 - Su función es proteger y transportar diversos productos envasados. Generalmente son rígidos, por ejemplo cajas, tarimas, espumas protectoras.
- **Embalaje**
 - Material flexible que sujeta y refuerza el empaque, por ejemplo, cintas, cuerdas, películas para su pelletizado.

Consumo

El mercado de consumo abarca muy diversas piezas de uso cotidiano como artículos para el hogar, cuidado personal, deportes y recreación, oficina, escuela, accesorios fotográficos, calzado, equipaje, tarjetas, botones, utensilios de jardín etc...

Adhesivos y recubrimientos

Está compuesto por aplicaciones de plásticos termofijos, principalmente para fabricación de adhesivos, tintas para impresión, esmaltes, pinturas y barnices.

Construcción

En México, este mercado ha crecido considerablemente debido a proyectos de infraestructura importantes tales como, edificios, carreteras y otros como la modernización de los drenajes y ductos para electricidad y telefonía.

Sus aplicaciones son: tubos rígidos y flexibles, tanques, perfilería para estructuras, paneles, domos, pisos, puertas, ventanas, accesorios, enrejados, cercas y barandales, artículos para iluminación, alfombras⁴⁸.

⁴⁸ The Association of Plastics Manufacturers In Europe (APME), « *Plastics, a material of choice in building and construction* », 10 p.

Muebles

Este mercado ha sufrido contracciones debido a la importación de producto terminado. Los productos son sillas, sillones, telas para tapicería, colchones, cortinas y persianas, lámparas y marcos.

Industrial

Incluye partes para todo tipo de maquinaria como: engranes, bujías, poleas, carcazas, herramientas, contenedores y tubería para procesos químicos y alimenticios.

Eléctrico y electrónico

Es un sector en donde la demanda se impulsa por la necesidad materiales con propiedades de aislamiento eléctrico: recubrimiento de alambre y cable, resistencias, contactos, cintas magnéticas, baterías y partes para equipos de comunicación, cómputo, audio y video⁴⁹.

Transportación

Se define como mercado de transportación al que agrupa aplicaciones de los plásticos en automóviles, camiones, autobuses, motocicletas, bicicletas, aviones, vehículos militares, barcos, botes, y vehículos recreativos⁵⁰.

Otros

Se incluyen aplicaciones para uso agrícola y medicina, dispositivos de separación para procesos anticontaminantes y resinas que intercambian sus iones para la purificación del agua.

⁴⁹ The Association of Plastics Manufacturers In Europe (APME), « Plastics, a material of choice for electrical and electronic industry », 10 p.

⁵⁰ The Association of Plastics Manufacturers In Europe (Apme), « Plastics, a material of choice for electrical and electronic industry », 7 P.

3 Reciclado

3.1 Generalidades e Historia del Reciclado

El desarrollo de la Industria del plástico ha contribuido en cambios y avances de diversos sectores importantes como: automotriz, industrial, comunicaciones, alimentos, farmacéuticos y sector agrícola, debido al reemplazo de materiales tradicionales como: madera, papel, vidrio y metal. Estos cambios en consecuencia, han modificado los hábitos de consumo de la población, propiciando el uso de una gran cantidad de materiales plásticos, que posteriormente se convierten en desechos que ocasionan un problema de contaminación.

En los últimos años, a escala mundial se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de recursos naturales. Los plásticos se enfrentan a uno de los retos más importantes desde su introducción en el mercado, ya que sus ventajas como la resistencia a la degradación y su economía con respecto a otros materiales están siendo cuestionadas por su impacto ambiental⁵¹.

Algunos países han creado medidas legislativas como la retornabilidad y la reglamentación en el uso de materiales para reciclado. El interés por reciclar plásticos tiene como beneficios el mejoramiento ecológico y la generación de nuevas industrias que pueden ayudar a resolver los problemas de contaminación, aunado a la obtención de utilidades económicas⁵¹.

Aunque no se cuenta con documentos sobre cómo y cuando comenzó el reciclado de plásticos, probablemente en los inicios del desarrollo de la industria los transformadores empezaron a reciclar las piezas defectuosas que sostenían durante el proceso de producción y posteriormente determinaron que mezclándolas en determinados porcentajes con el material virgen podrían obtener partes moldeadas de buena calidad⁵².

En el año 1970, inicia el desarrollo del reciclado de plásticos debido a que su precio comenzó a aumentar y, más tarde, al desabasto de materiales como consecuencia del embargo petrolero y del incremento del precio del petróleo⁵³.

Esta combinación de circunstancias propició el desarrollo de nuevas tecnologías de recuperación que atenderían las necesidades de los consumidores para solucionar el problema de abasto así como también una participación de los gobiernos mucho más activa en materia legislativa misma que se ha traducido en exitosas experiencias en Europa y Estados Unidos.

Con el objetivo de encontrar soluciones para los desechos plásticos se han desarrollado diversas investigaciones que incluyen métodos físicos y químicos.

⁵¹ Glender, Alberto, Lichinger, Victor. "La diplomacia ambiental" SRE-Fondo de cultura económica, 1994.

⁵² The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « Le recyclage des matières plastiques, une activité économique dans toute sa complexité », 1991.

⁵³ Vermeir W., « L'environnement et l'emploi, tous deux gagnants », *INFO 11, Fost Plus*, octubre 1997, pp. 24-25.

Los métodos físicos consisten en sistemas para lavado y separación, molienda, fusión y granulado. Los métodos químicos no han prosperado tanto fuera del laboratorio, como el proceso de pirólisis para aprovechar el poder calorífico de los materiales plásticos o los procesos de hidrólisis que sirven para depolimerizar las moléculas de plásticos, como el PET y el acrílico, y obtener sus materias primas originales.

Cuando se analizó el costo energético y productivo desde la extracción del crudo hasta su transformación final, se obtuvieron datos poco favorables para hacer de la incineración la solución que eliminara la basura plástica, creándose otras tecnologías que permitieran transformarla en una vida útil secundaria.

Considerando las ventajas de los métodos físicos, nace el reciclado de materias plásticas, que cobra gran importancia en los años 80's, donde surgen mercados y aplicaciones como una opción de negocio.

En los 90's se desarrollaron centros de acopio, en donde se recolectan sistemáticamente los diferentes materiales para facilitar su transformación posterior.

Los desperdicios plásticos se vuelven a integrar a un ciclo, industrial o comercial, convirtiéndose en materias primas a través de procesos especializados.

La escasez de materias primas que presenta la Industria del Plástico provocará el desarrollo de nuevas tecnologías de reciclado.

Reciclar significa "optimizar la circulación de materiales dentro de un sistema cerrado con el propósito de optimizar recursos, disminuir la generación de basura, propiciar la separación de desperdicios y reintroducir los mismos al sistema productivo para generar artículos útiles al hombre".

3.1.1 Razones para reciclar

Los factores más importantes para reciclar plásticos son:

- Ecología
- Economía
- Escasez

a) Ecología

Actualmente las normas ecológicas se han reestructurado siendo más estrictas para el control de los desechos plásticos.

El reciclado de plásticos contribuye con la ecología ya que ayuda a resolver el problema de los desperdicios plásticos, se ahorra hasta el 88% de la energía que se requiere para producirlos a partir de petroquímicos y conserva los recursos naturales al reutilizar los productos del petróleo.

b) Economía

La generación de desperdicios es inevitable en la industria de transformación de plásticos, por lo que para no crear una pérdida económica las empresas reciclan las mermas combinándolas con material virgen. Estas mezclas ayudan a reducir el costo del producto que, de acuerdo a los porcentajes que se utilicen de regranulado, se disminuyen los costos, siempre y cuando no se afecten las características del artículo fabricado.

El precio del material reciclado es menor que el virgen, con lo que el costo del producto se reduce y puede competir en el mercado.

c) Escasez

La industria de transformación de plásticos ha crecido considerablemente y además ha atravesado por varias crisis de materiales. Estos dos factores propician la escasez y desabasto de materias primas y crea la oportunidad en los plásticos reciclados.

La secuencia de acciones para disminuir el problema que generan los materiales de corta vida útil se describe a continuación:

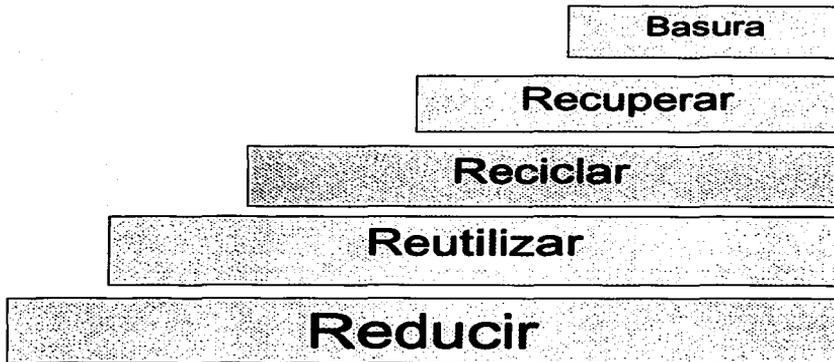


Figura 3.1 Mecanismos para la disminución de desechos plásticos⁵⁴

⁵⁴ Varios, "Mesa de Inversión - Manejo de Residuos Sólidos", Semarnap, 1997

Schteingart, Martha; d'Andrea, Luciano., "Servicios Urbanos: Gestión Local y Medio Ambiente", El Colegio de México, 1991

Reducir significa utilizar la menor cantidad posible de materiales que se vayan a desechar. Con este propósito se han desarrollado plásticos más resistentes, aditivos y procesos que permiten fabricar productos más ligeros y de espesores menores y diseños ergonómicos.

Por ejemplo, se han sustituido botellas rígidas por películas flexibles para contener líquidos con el objetivo de ocupar menores espacios en los centros de acopio y rellenos sanitarios.

Reutilizar es aprovechar al máximo la vida útil de los productos a través de sistemas de retornabilidad, como es el caso de las botellas para bebidas gaseosas y las cajas donde se transportan, así la empresa fabricante logra un control en el manejo de los productos terminados, disminuyendo el desperdicio.

Reciclar es la tercera opción y se aplica una vez que los productos ya no pueden ser utilizados para su objetivo original. Sirve para obtener materia prima que será utilizada para fabricar artículos útiles para una segunda aplicación.

El concepto de recuperar es la utilización de métodos químicos para obtener materias primas o energía a partir de desechos plásticos.

La última etapa en el tratamiento de desechos es la basura y solamente deberá ser útil para cuando los productos hayan alcanzado su máximo uso y no se justifica su reciclamiento.

Como puede observarse, en la actualidad la secuencia que se muestra en la figura anterior no es del todo correcta ya que la basura sigue ocupando un lugar preponderante⁵⁵.

3.1.2 Fuentes de desperdicios plásticos

La generación de desperdicios plásticos se divide en varios grupos⁵⁴.

- Industria Usuaria (10%)
- Fabricantes de Materia Prima (5%)
- Transformadores (15%)
- Comercios (10%)
- Basura Doméstica (60%)

3.1.2.1 Industria Usuaria

Se conoce como desecho industrial a todo aquél artículo que es separado antes de formar parte de la basura, de este modo su recuperación es económica y práctica, originando que se utilicen de nuevo los materiales.

⁵⁵ Castillo, Berthier H., "La sociedad de la Basura: Caciquismo en la ciudad de México", Cuadernos de Investigación Social, 9

La siguiente tabla muestra el uso que se proporciona generalmente a los desperdicios industriales.

Tabla 3.1: Uso de desechos industriales⁵⁶

Material	Aplicación
Papel y cartón	Se recicla para fabricar papel
Plásticos	Se recicla para fabricar otras piezas de plástico
Metal	Se recicla para fabricar otras piezas metálicas
Vidrio	Se recicla para fabricar vidrio
Materia Orgánica	Se produce composta
Madera	Puede quemarse o utilizarse en la fabricación de piezas pequeñas
Otros	Se dirigen a centros de confinamiento

Los principales plásticos que genera son:

- Películas de empaque de materia prima
- Desperdicios generados por el proceso de envasado

Debido al contenido que llevan generalmente no se pueden reutilizar pero si se pueden separar y mandarlos a un Centro de Acopio o empresa recuperadora.

3.1.2.2 Fabricantes de Materias Primas

Realmente en este renglón de la industria casi no hay desperdicios plásticos pero los que pueden llegar a generarse son por lo general plásticos de grandes dimensiones, difíciles de moler, pero con ciertas tecnologías criogénicas es posible recuperarlos. En general es material de purga y limpieza.

Transformadores

En la industria de transformación del plástico se obtiene:

- Inyección de plásticos: coladas y piezas defectuosas
- Extrusión: purgas y desperdicio pero esto tan sólo al inicio
- Soplado: es igual que en extrusión

Se separan de acuerdo al tipo de material y se reciclan. Aquí es mucho más fácil su reutilización, ya que se pueden procesar en la misma empresa. Hay productos

⁵⁶ Varios, "Análisis sectorial de residuos sólidos en la zona metropolitana del Valle de México", Organización Mundial de la Salud, 1996

que no se pueden reciclar por lo que se vende el material para que otras empresas lo procesen y comercialicen como remolidos⁵⁷.

Comercios

Al igual que los fabricantes de materia prima, aquí se generan muy poco desechos plásticos y son muy parecidos a la basura doméstica. Los comercios generan plásticos como:

- Películas Termoencogibles (cajas de embalaje, empaques de Poliestireno)
- Botellas, vasos, cucharas, bolsas, envolturas

Existen para los supermercados y centros comerciales, pequeñas empresas que se dedican a la recolección de los desperdicios plásticos, pudiéndose así procesar directamente⁵⁸.

Basura Doméstica

Con el crecimiento demográfico el problema de la basura también se ha acrecentado. Para efectos del presente trabajo se entiende como "basura" a todo objeto que ya no tiene valor o uso y del cual surge el deseo de eliminarlo.

En 1993, se produjeron 1000 millones de toneladas de basura en el mundo que representan 2.7 millones de toneladas diarias, considerando que presentan una densidad de 200 kg/m³ esta cantidad equivaldría a 13 millones de m³⁵⁸.

Tabla 3.2 Composición de la Basura⁵⁹

MATERIAL	%
• Papel y Cartón	38
• Plásticos	18
• Metal	14
• Materia Orgánica	4
• Vidrio	2
• Otros	22
Total	100

⁵⁷ Edward A. Muccio. "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994

⁵⁸ Vermeir W., « L'environnement et l'emploi, tous deux gagnants », *INFO 17, First Plus*, octobre 1997, pp. 24-25.

⁵⁹ Varios, "Análisis sectorial de residuos sólidos en la zona metropolitana del valle de México", Organización Mundial de la Salud, 1993

De este volumen, sólo el 30% recibió un tratamiento, el resto se convirtió en un problema ecológico, higiénico, social y económico, ya que el costo de su recolección, transporte y eliminación es cada vez más elevado y cuestionable.

Estos desechos van directo a la basura, donde se contaminan para su reciclaje lo que implica separarlos y lavarlos. Es por ello que se emplea el triángulo de identificación de materiales para el ama de casa.

En este sentido, existen en países desarrollados programas de recolección de desperdicios, que incluyen la separación en el punto de origen de artículos por tipo⁶⁰.

En México, el manejo de los desechos sólidos es el reflejo de la desenfadada urbanización, originando un incremento directo en la generación de basura (en México se produjeron tan sólo en 1994, 29 Millones de toneladas de basura) y con la agravante de no existir en este país programas de separación de desperdicios⁶¹.

3.2 Ciclo de Residuos Sólidos

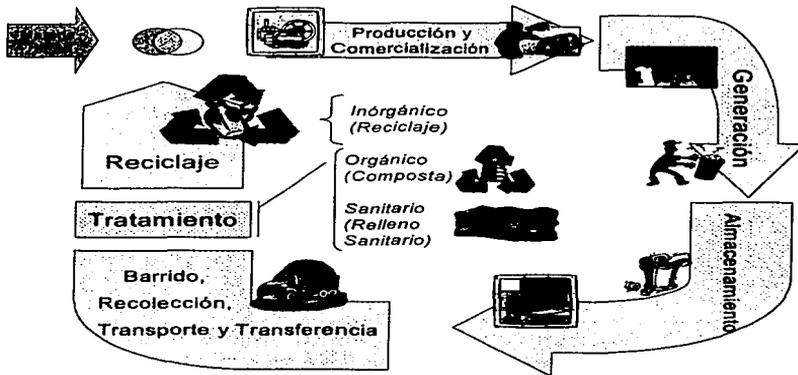


Figura 3.2 Diagrama del Ciclo de los Residuos Sólidos⁶²

⁶⁰ Varios, "Les priorités d'investissement des collectivités locales dans le domaine des déchets", Ademe Editions, 1997

⁶¹ Varios, "Recyclage des Plastiques: Photographie de la Fillière Française", La Lettre Ademe, No 45, 1997

⁶² A partir de: Varios, "Equipements de tri et de conditionnement des matériaux recyclables", Ademe Eco-Emballages, 1996

Generación

La generación de los desechos es la primera etapa de nuestro ciclo y esta depende de muchos factores como pueden ser: el aumento del consumo al existir un aumento en el ingreso, cultura y educación, el aumento de población, tecnología de producción así como las características climáticas propias de cada lugar.

Almacenamiento

Esta etapa se caracteriza por el hecho de retener los desechos en recipientes con diferentes capacidades. Se distinguen el almacenamiento domiciliario y el industrial. Hoy en día, en nuestro país los desechos se almacenan indistintamente, por lo cual se dificulta en extremo la recuperación del material reciclado generando la necesidad de una etapa posterior de separación o clasificación.

Barrido, Recolección, Transporte y Transferencia

Barrido y Recolección

El fin de esta etapa es mantener limpia la vía pública. Se distinguen dos formas básicas: barrida manual (escobas) y la mecánica (barredoras).

La recolección comienza cuando se recogen los desechos en vehículos, para posteriormente llevarlos a estaciones de Transferencia, complejos industriales o basureros municipales (sitios e disposición final). La logística de la recolección debe basarse en las necesidades de frecuencia de la comunidad.

Para un adecuado reciclaje de desechos domiciliarios, es necesario resaltar que es imperativa una colecta que permita la clasificación de los materiales reciclables y las que no lo son. Optimizando los recursos con los que ya se cuentan en lo que a recolección se refiere.

Transporte y Transferencia

Los desechos pueden llevarse directamente o por medio de estaciones de transferencia. Para los primeros se recomienda que sea a 15 Km de distancia del poblado o ciudad, por lo cual el segundo sistema se recomienda para grandes ciudades como el D.F., Monterrey y Guadalajara⁶³.

⁶³ Aguilar Rivero, Margarita., "Basura: Manual para el Reciclaje Urbano", Trillas 1995

Las estaciones de Transferencia son centros de distribución en puntos estratégicos que tienen como objetivo abatir costos y facilitar el manejo de los residuos. Si bien el detalle de esos procedimientos rebasa los alcances del presente trabajo, es fundamental para sentar las bases de la reutilización de los plásticos reciclables⁶⁴.

Tratamiento

En México existen varios sistemas de tratamiento de basura que intentan reducir los efectos contaminantes en el agua, aire y suelo, como:

- **Incineración**
Es la eliminación de la mayor parte del volumen residual por medio de la combustión. En este proceso buena parte de los desechos se transforman en gases y cenizas. En ocasiones es posible aprovechar la energía que se genera.

- **Relleno Sanitario**
Es cuando se entierra en un lugar previamente autorizado basura previamente clasificada y compactada. Estos se dividen en dos:
 - Relleno sanitario mecánico
 - Relleno sanitario rústico

- **Composteo**
A través de la degradación biológica con la ayuda de bacterias que ayudan a la fermentación de la materia orgánica, liberando gases y generando nutrientes utilizables en la agricultura. Pero esto es sólo para materiales orgánicos.

- **Compactación**
Al aplicar altas presiones a los materiales sólidos, estos pierden o reducen su volumen, por lo que ocupan menos lugar.

- **Pepena**
Consiste en la separación manual de la basura en vidrio, plásticos, metales y otros

⁶⁴ Aguilar Rivero, Margarita., "Basura: Manual para el Reciclaje Urbano", Trillas 1995

Producción y Comercialización

Los residuos plásticos que se producen son envases y/o empaques de productos perecederos o utensilios que generalmente se comercializan en diferentes tipos de tiendas dentro de las cuales destacan: cadenas de autoservicio y departamentales, mercados de abasto, así como pequeñas empresas familiares que expenden todo tipo de bienes de consumo, mejor conocidas como "las tienditas de la esquina" o "changarros".

3.3 Separación y Reciclaje

Usualmente, se considera que los desperdicios inorgánicos reciclables que más saturan los rellenos sanitarios comprenden envases, embalajes, papel y cartón. De hecho los esfuerzos de los gobiernos se orientan generalmente a resolver la problemática que de estos desechos se desprende⁶⁵.

Información Básica sobre los envases y embalajes

Para entender mejor el impacto de los envases y embalajes en el medio ambiente, es fundamental entender los conceptos que abarcan, así como sus orígenes y sus usos.

Por envase entendemos el contenedor que almacena el producto que se comercializa y con el que entra en contacto el consumidor final.

Por otro lado, el embalaje es el contenedor en el que se encuentran los envases para facilitar su manejo y su transporte. Comúnmente se usa este concepto como unidad de carga.

Finalmente, el empaque es el material de relleno que se usa para proteger los envases en los embalajes⁶⁶.

Dentro de los puntos de impacto positivo hacia el medio ambiente citamos los siguientes:

- Los envases son elementos clave para la distribución de alimentos y abaratan los precios de los mismos
- En las fuentes industriales de empaque existe la inquietud por optimizar el uso de materiales reciclados por bajar costos y en ocasiones por la posibilidad de usar mercadológicamente este concepto
- Hay envases de un solo uso que ayudan a disminuir la transmisión de enfermedades

⁶⁵ Aguilar Rivero, Margarita., "Basura: Manual para el Reciclaje Urbano", Trillas 1995

⁶⁶ M.A.Ramos & M.R.De María "Ingeniería de los materiales plásticos" Díaz de Santos., 1988

- Por otro lado los envases reutilizables contribuyen a disminuir el impacto ambiental

Los envases son en general un factor positivo, sin embargo al no contar con la tecnología ni la conciencia para reciclarlos, estos tienen un impacto ambiental negativo ya que no son asimilables por el medio ambiente y generan problemas como la contaminación del aire, agua y suelo.

La mayoría de los envases están fabricados con metales (Cf. aluminio...), vidrio (botellas y frascos) papel y cartón, materiales complejos (tetrapak); pero en su gran mayoría (96%) están hechos de plástico⁸⁷:

- PET (Polietilentereftalato)
- PEAD (Polietileno de alta densidad)
- PVC (Policloruro de Vinilo)
- PEBD (Polietileno de baja densidad)
- PP (Polipropileno)
- PS (Poliestireno)

En un estudio realizado por "Franklin Associates"⁶⁸ hace poco en los Estados Unidos se determinó que 65 Millones de Toneladas aproximadamente son parte del flujo de residuos sólidos por concepto de envases (62 Millones en plástico).

Esta cantidad mantiene un enfoque constante por parte del gobierno en el problema del reciclaje, impulsando así a la industria del envase a proponer soluciones innovadoras para el reciclaje y reutilización de estos materiales.

Esta situación, aunque a diferente escala, se repite a grandes rasgos en nuestro país. Todavía en el plan de desarrollo 1997 se incluyeron proyectos prioritarios en cuanto a infraestructura para el mejor aprovechamiento de los residuos sólidos.

En suma, hoy en día este renglón se mantiene como un área de oportunidad importante.

Separación de los materiales

Uno de los mayores problemas que se enfrentan para la reutilización en proceso de cualquiera de estos plásticos es la separación de entre los desechos domiciliarios, de los materiales reutilizables y reciclables de los residuos orgánicos.

Ya que los materiales reutilizables adquieren olores y sustancias de los residuos orgánicos, se dificulta su reciclaje.

⁸⁷ Miller, Andrew. January 3, 1994. "[Back to Basics](#)," *Chemistry and Industry*, 8-9.

⁸⁸ <http://sourcebook.plasticsresource.com>

Para ayudar a una correcta separación de los materiales, en los países industrializados se han hecho intensas campañas de concientización de la población para que sean separados desde los hogares. Puesto que se ha comprobado un fuerte impacto en la rentabilidad al incluir el proceso de separación en el proceso de reciclado⁶⁹.

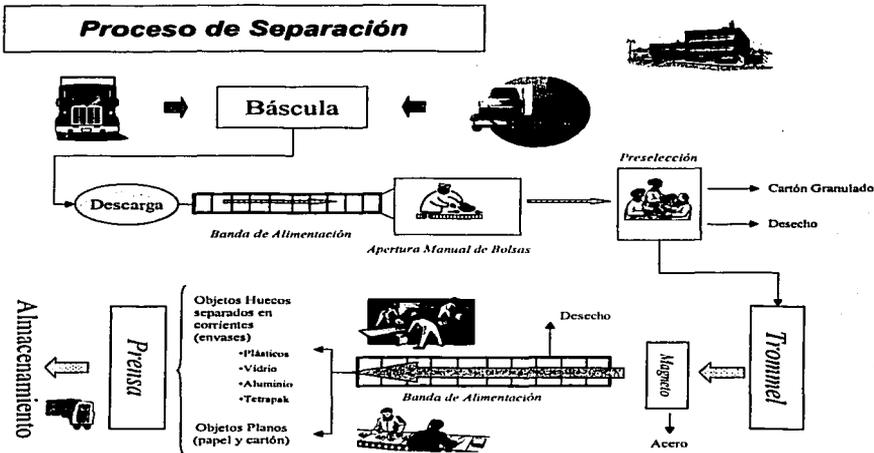
Por esta razón es que hay que trabajar conjuntamente con los gobiernos para crear sinergias que lleven al bien común.

Actualmente la cadena de separación, con algunas variantes, es básicamente la misma para cualquier tipo de desecho y consta de los siguientes pasos⁷⁰:

1. Admisión de desechos a la planta
2. Por medio de una banda entran al sistema de separación
3. Generalmente de forma manual, se realiza el sacar de las bolsas los desechos
4. Se hace una preselección, poniendo a parte bolsas de plástico, grandes cartones, láminas, pilas y materia orgánica
5. Se alimentan las bandas de cuerpos planos (papel, cartón, etc...) y la banda de cuerpos huecos (latas, botellas, etc...) a través de un separador rotatorio (trommel)
6. En la banda de cuerpos huecos se extraen los metales ferrosos por medio de una banda magnética
7. El cartón, papel de colores, papel periódico, revistas, papel blanco y plásticos que han quedado después del trommel en la banda de cuerpos planos son separados
8. En cambio en la de cuerpos huecos los que son separados se dividen el PVC, PET y PEAD (fácilmente reconocibles por sus propiedades de color, transparencia y elasticidad) de los botes de aluminio, tetrapak, y papel para su correcto almacenamiento
9. Los materiales son llevados a una prensa en lotes según el tipo de material
10. Almacenamiento
11. Carga de Camiones

⁶⁹ http://www.plasticsresource.com/recycling/community_recycling_materials

⁷⁰ Leroy, Jean Bernard., "Los desechos y sus tratamientos", Fondo de Cultura Económica, 1987



3.4 Variables que intervienen en el Reciclado de Plásticos

El reciclaje como negocio

Como en cualquier negocio hay variables que intervienen para que sea redituable, aunque en pequeña escala, también México está en desarrollo en lo que a reciclaje se refiere. Alemania, Japón y Estados Unidos, ven en los países del tercer mundo una oportunidad única, cuya factibilidad radica en:

⁷¹ La separación es tan difícil que algunos sistemas automatizados, además del manual, han sido desarrollados. Uno de estos sistemas automatizados son las máquinas foto-ópticas las cuales reconocen formas y transparencia (Rennie, Caroline and MacLean Atair, 1989. *Salvaging the Future: Waste-Based Production*, Washington, D.C.: Institute for Local Self-Reliance). Hay otros métodos de separación automatizada basados en las diferencias en gravedad específica, difracción de rayos x y disolución en solventes. 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 separación manual se incluye dentro de esta categoría, esta clasificación se ve auxiliada por un código de números. La micro separación puede hacerse por una propiedad física específica como el tamaño, peso, densidad, etc. Por otra parte, la separación molecular involucra procesar el plástico por disolución del mismo y luego separar los plásticos basados en la temperatura (Hegberg, Bruce A. and Gary R. Brenniman, 1992. *Mixed Plastics Recycling Technology*, New Jersey: Noyes Data Corporation).

ABASTO.- que sea constante y clasificado, derivado del post-consumo o desperdicios industriales siempre tomando en cuenta la normalización existente. Se requiere de un almacén de grandes dimensiones ya que el plástico es un material voluminoso.

LIQUIDEZ.- el punto anterior requiere de este para tener asegurado el material que se requiere para la operación.

TECNOLOGÍA.- es imperativo estar siempre a la vanguardia en este renglón, que nos permita controlar los materiales para su adecuada comercialización

MERCADO.- hay que valorar tanto la cantidad y la calidad para poder aprovechar los avances y poder ser competitivos.

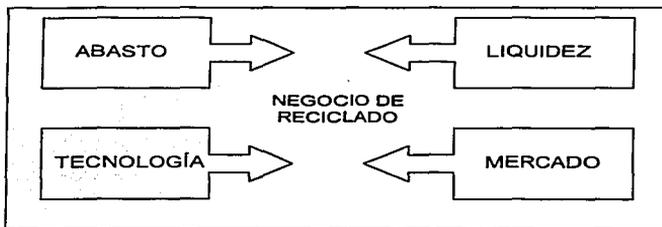


Figura 3.4 Variables para el negocio de reciclaje⁷²

Factores de degradación de los polímeros

Para el mejor aprovechamiento de los recursos es necesario considerar las variables que afectan las características del inventario, específicamente los llamados factores de degradación de los polímeros, por los que entendemos los tipos de reacciones que rompen las cadenas moleculares⁷³.

⁷² The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME),
«http://www.apme.org/topics/a_major_european_industry/industry.html»

⁷³ <http://www.laf.es/sectores/plastico/recicla.htm>

Tabla 3.3 Tipos de degradación⁷³

• DEGRADACIÓN TÉRMICA	Exposición del polímero a temperaturas muy elevadas, causando modificaciones químicas en la estructura del material, debido a la reacción de las impurezas o aditivos ante presencia del calor
• DEGRADACIÓN MECÁNICA	Efectos macroscópicos que producen los esfuerzos de cizalla, generando calor debido a la fricción, provocando el rompimiento de las cadenas. Esta degradación se controla con la velocidad del husillo
• DEGRADACIÓN FOTOQUÍMICA	Cambios físicos y químicos provocados por la exposición de rayos ultravioletas, generando así reacciones fotoquímicas, siempre y cuando haya absorción de cromóforos.
• DEGRADACIÓN POR RADIACIÓN QUÍMICA	Este método pocos plásticos lo resisten, ya que se basa en la exposición de los mismos a energía electromagnética (como rayos gamma, rayos X, radiación de partículas como electrones y neutrones)
• DEGRADACIÓN BIOLÓGICA	Este método es utilizado primordialmente con el PVC Flexible, ya que la mayoría de los polímeros son inertes al ataque de microorganismos. Esta degradación se basa en un proceso químico donde el carbono del plástico genera una serie de enzimas (al fungir como alimento) provocando así su descomposición
• DEGRADACIÓN QUÍMICA	Descomposición del polímero al entrar en contacto con sustancias tales como ácidos, bases, solventes, y gases reactivos ^{73 74}

⁷⁴ adaptado de: <http://www.apme.org/>

3.5 Análisis por tipo de plástico

En este apartado consideramos dos grandes grupos:

Termoplásticos

A la acción del calor se funden y pueden moldearse repetidamente, se debe tener en cuenta que en cada transformación se pierden parte de sus propiedades originales⁷⁵.

Dentro de los principales termoplásticos resaltamos:

- Polietilén Tereftalato
- Polietileno de Baja Densidad
- Polietileno de Alta Densidad
- Cloruro de Polivinilo
- Polipropileno
- Poliestireno
- Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
- Nylon

Termofijos

Una vez moldeados, no se pueden fundir para reutilizarse, ya que se carbonizan; generalmente están cargados con minerales y fibra de vidrio⁷⁵.

Dentro de los principales termoplásticos resaltamos:

- Resina Poliéster
- Resina Fenólica
- Resina Melamínica
- Poliuretano

A continuación se presenta un cuadro detallando los tipos de plásticos con sus aplicaciones de primer uso y después del reciclaje. En este cuadro se refleja la información de los materiales más comunes en los usos industriales y de consumo (tabla 3.4).

⁷⁵ Miller, Andrew. January 3, 1994. "[Back to Basics](#)," *Chemistry and Industry*.

Tabla 3.4 Resumen del uso de diferentes materiales plásticos antes y después del reciclaje⁷⁶

NOMBRE Y CODIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	PRINCIPALES USOS	PROPIEDADES AL SER RECIDADO	ADITIVOS Y APLICACIONES	OBSERVACIONES
POLIETILÉN TEREFALATO (PET)	Transparencia, tenacidad, y barrera de gases, principales a CO ₂	Envase de bebidas carbonatadas, de cosméticos, de productos alimenticios, detergentes líquidos, aceites y licres	Presenta turbidez por los adhesivos que en presencia de calor degradan al material, disminuyen su viscosidad y acetilalohido. Se modifican la resistencia a la tensión y elongación. De acuerdo al cambio que presenta la cadena es el tipo de variación de propiedades. Hay distintos aditivos pero no se deben adicionar más del 0.1% de cada componente.	Pueden ser fositos y fenólicos. <ul style="list-style-type: none"> • Fibra • Fofo • Aleaciones y Compuestos 	ES EL PLÁSTICO MÁS RECIDADO, REPRESENTA EL 25% DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO
POLIETILENO ALTA DENSIDAD (PEAD)	Rigidez, bajo costo, fácil de procesar, resistencia al rasgado y ruptura	Botellas de detergentes, blanqueadores líquidos, aceites para motores, leche, jugos, bolsas para supermercados.	Se modifican la resistencia a la tensión y elongación. De acuerdo al cambio que presenta la cadena es el tipo de variación de propiedades. Hay distintos aditivos pero no se deben adicionar más del 0.1% de cada componente.	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de productos de limpieza • Recipientes de basura • Cajas refresqueras • Tuberías para riego y conduit. • Pellet • Contenedores Industriales 	Representan el 50% de las bolsas de plástico. En USA cada año se desechan 370,000 ton de botellas de jugo y leche y solo se recupera el 20%
POLIETILENO BAJA DENSIDAD (PEBD)	Transparencia, flexibilidad, fácil de procesar y presenta barrear a la humedad	Bolsas para basura, para el pan, supermercados.	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de productos de limpieza • Recipientes de basura • Cajas refresqueras • Tuberías para riego y conduit. • Pellet • Contenedores Industriales 		
CLORURO DE POLVINILO (PVC)	Versátil, compatible con gran variedad de aditivos y plásticos. Transparencia y Resistencia Química	Envases transparentes, cosméticos y productos de limpieza. Tuberías	Es difícil de reciclar ya que pierde brillo, se amarillenta y pierde transparencia. El cloro lo degrada más que otros componentes	Se utilizan varios aditivos pero se están buscando estabilizadores especiales para conservar las propiedades. <ul style="list-style-type: none"> • Tubería conduit • Suelas • Pisos • Recubrimientos de alambre 	También se le conoce como "vinilo"
POLIPROPILENO (PP)	Alta resistencia química y a la fatiga, con densidad muy baja que favorece el rendimiento.	Fibras, películas para envases, tapas, envases y botellas colapsables		Estabilizador AO-2, AO-3, AO-4. <ul style="list-style-type: none"> • Baterías autos • Ventilación autos • Contenedores Industriales • Sillas • Textiles • Ganchos • Portafolios • Tarimas 	Desde hace 30 años se utiliza para fabricar baterías para autos, debido a su ligereza, durabilidad y rectabilidad

⁷⁶ Resumen elaborado a partir de las referencias citadas en el presente capítulo

A manera de ilustración se presentan a continuación valores de referencia en el cambio de las propiedades para el PP y el PEAD (tablas 3.5 y 3.6).

Tabla 3.5 Propiedades del PP⁷⁷

PROPIEDAD	PP HOMOPOLÍMERO		PP COPOLÍMERO	
	Virgen	Regranulado una Vez	Virgen	Regranulado una Vez
Tensión a la Ruptura Kg./cm ²	314	267	195	191
Módulo de Flexión Kg./cm ²	19,543	19,614	12,232	12,092
Impacto Izod Kg. cm./cm.	3.26	2.72	8.160	7.62
HDT A 4.6 kg/cm ² °C	100	105	74	81

Tabla 3.6 Propiedades del PEAD⁷⁷

PROPIEDADES	PEAD Virgen	PEAD Procesado una Vez
Índice de Fluidez g/10 min.	0.77	0.79
Densidad g/cm ³	0.963	0.961
Módulo de Flexión Kg./cm ²	15,396	15,396
Resistencia al Impacto Izod kg.cm./cm.	13	9
Resistencia a la Tensión a la Ruptura Kg./cm ²	155	175
Elongación %	555	613

La "Society of the Plastics Industry" (SPI) desarrolló un sistema que ha sido adoptado en todo el mundo y que ayuda a identificar el material empleado para fabricar: Bolsas, Cubetas, Recipientes, Contenedores, Tarros y Botellas es decir aplicaciones de diferentes materiales que son semejantes a la vista o al tacto lo que dificulta identificar el material plástico.

El éxito de este sistema se basa en que es una simbología simple que permite, en el proceso de recolección y reciclaje, identificar y separar los diferentes productos. El código está compuesto por un triángulo formado por tres flechas con un número en el centro y letras en la base.

Este código es moldeado mediante un grabado en el fondo del recipiente según lo permita la geometría del artículo. El tamaño mínimo recomendado es de 2.5 cm

⁷⁷ <http://www.plasticsdatasource.org/>

para lograr su rápido reconocimiento. Envases de bases pequeñas pueden llevar el símbolo en un tamaño proporcional⁷⁶.

En investigaciones realizadas por la SPI, se obtuvo que el símbolo resulta efectivamente simple y fácil de distinguir en comparación con otras marcas tradicionalmente colocadas en sus envases por sus fabricantes⁷⁸.

Actualmente los códigos se colocan en los moldes; si el envase es fabricado en un nuevo modelo y con resinas diferentes, el código se puede cambiar por medio de un inserto para volver a clasificar la materia prima.

En México nos enfrentamos a que para usar esta codificación se tenga que educar a los fabricantes y hacerles ver que esto ayuda a su empresa hasta en la posible reutilización de los mismos.

Existen 5 familias de plástico que son las que generalmente se encuentran en los hogares mexicanos (75% del consumo de plásticos)⁷⁹:

- Polietilentereftalato PET
- Polietileno PE
- Policloruro de Vinilo PVC
- Polipropileno PP
- Poliestireno PS

De estos el 95% se encuentran en la Basura ya que como lo hemos dicho ya, no existe una conciencia de reutilización, argumento que fortalece la idea de oportunidad en el negocio de reciclaje.



Figura 3.5 Códigos de identificación de resinas de acuerdo con la SPI⁸⁰

Tabla 3.7 Codificación de las principales familias de plásticos⁸⁰

Número	Familia
1	Polietilentereftalato
2	Polietileno de alta densidad
3	Cloruro de polivinilo
4	Polietileno de baja densidad
5	Polipropileno
6	Poliestireno
7	Especiales



⁷⁶ <http://www.americanplasticscouncil.org>

⁷⁹ <http://www.sma.df.gob.mx/sma/raasr/pel/06plasticos.htm>

⁸⁰ <http://www.plasticsindustry.org/outreach/recycling/2124.htm>

En general el ciclo para los Plásticos podría esquematizarse de la siguiente manera.

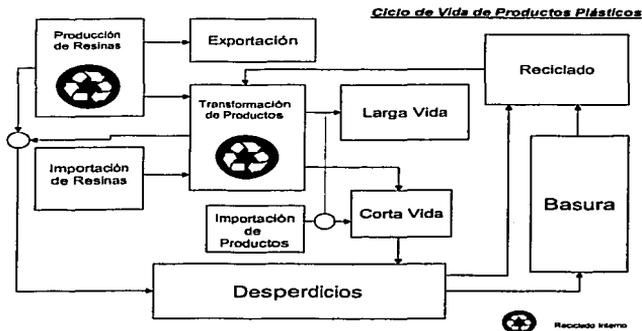


Figura 3.6 Ciclo de Vida de Productos Plásticos⁸¹

La figura anterior señala el origen de los desperdicios en el post-consumo y la transformación o producción de resinas, involucrando también una influencia del mercado externo, fundamental en la situación de apertura económica que vive el mundo y nuestro país.

En algún momento las corrientes convergen hacia los desperdicios, sin embargo como se señala en la figura de manera esquemática los productos de larga vida tardarán más tiempo en llegar a este punto.

⁸¹ a partir de <http://www.plasticresource.com/recycling/>

4 Procesos de Reciclaje

4.1 Introducción

Dentro del marco del presente trabajo este capítulo tiene como objetivo presentar la opción más frecuentemente encontrada en la industria mexicana del reciclaje de plásticos, en dónde sobresale, al igual que en Estados Unidos, el proceso mecánico de reciclaje.

A grandes rasgos este último consiste en la disposición de los desechos plásticos para su posterior transformación en "pellets".

Como se ha visto en capítulos anteriores la Industria de los Plásticos floreció durante la segunda guerra mundial, por causa misma de la economía de guerra. La Industria continuó su expansión con el uso de los materiales "jóvenes" que se descubrían casi a diario. Al incrementarse el uso de plásticos su desecho también creció.

Durante los 50's los principales fabricantes de plásticos estaban enfocados a la producción de resina virgen. Cualquier exceso se vendía a firmas más pequeñas que podían utilizar el desperdicio en sus corrientes de proceso. Este era el principal uso de desperdicio para los fabricantes de aquella época (y el caso de seguramente varios de la nuestra)⁸².

El consumidor final por su parte simplemente hacía a un lado el plástico usado y lo enviaba al manejo municipal de residuos sólidos. Hoy en día la recuperación se considera económicamente viable.

Sin embargo los grandes programas municipales de reciclaje son una relativa novedad (10 años a la fecha). En este renglón encontramos con una participación mayoritaria en las corrientes de PET y HDPE. De acuerdo con publicaciones de la APC existen sólo en Estados Unidos 15,500 comunidades (aproximadamente 50% de la población total) con instalaciones para la recuperación de plásticos⁸³.

En general esta infraestructura encontrada en Estados Unidos es importada a México como un proceso compuesto por las siguientes partes.

1 Recolección:

- Antes de poder ser tratados debe de recuperarse la cantidad de plásticos presente en la corriente de residuos sólidos. Esto se hace en general de 2 maneras:

⁸² Edward A. Muccio. "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994

⁸³ http://www.plasticsresource.com/recycling/recycling_rate_study/index.html

- Separación domiciliaria (en México los antecedentes son decepcionantes) en donde se colectan los plásticos en contenedores especiales centralmente localizados
- Recolección generalizada de residuos (cf. Ciclo de los residuos sólidos p. 45)

2 Manejo:

En esta etapa los residuos son separados (en general en nuestro país es necesario pasar por esta etapa) y compactados de ser el caso. La ventaja de esta última maniobra de compactación es el abatimiento de costos en la logística del transporte⁸⁴.

- **Separar:** Al tratarse de "multi-materiales" es necesario separar. Esto implica la distinción entre otros materiales como pueden ser acero, vidrio o aluminio. Es importante señalar que aún después de la separación por género mayor es necesario separar por tipo de plástico y remover cualquier otro contaminante. Esto se hace de manera manual o automática (menos común por necesidad de mayor y más costosa infraestructura – v. gr. infrarrojo...-).
- **Densificar:** por lo general al encontrarnos con botellas de plástico y demás contenedores de estos materiales, es lógico pensar en una alta relación volumen/masa, factor que induce altos costos de transporte (cf. párrafo anterior). Por esta razón es que se compactan los plásticos, por lo general con prensas o re-granulando los plásticos (molienda). En cierto sentido esta es la primera decisión de proceso que se toma, ya que dependerá del destino del material el tipo de compactación utilizada.

La etapa de manejo puede pertenecer al Estado o ser privada. En México la gran diferencia es que esta etapa va incluida cabalmente en el proceso. En las empresas estudiadas⁸⁵, la compactación es parte integral y fundamental del costo de producción ya que repercute en el transporte. Por ejemplo, en el caso de ciertos clientes en el extranjero resulta mejor sólo compactar y enviar abatiendo el costo de flete en pacas de 2 Ton (vs las más comunes de 1 Ton para proceso) y sin lavado posterior (cf. Exportación a China).

3 Reclamación:

En este punto los materiales separados se transforman en "pellets" o "trozos" (formados por un "granulador" que uniforma los cortes) usados para posterior fabricación de otros elementos plásticos.

⁸⁴ Aguilar Rivero, Margarita., "Basura: Manual para el Reciclaje Urbano", Trillas 1995

⁸⁵ de plásticas con Avangard de México, empresa de reciclaje de plásticos

En este punto se involucra una parte de proceso que podría omitirse de existir la suficiente confiabilidad en la cadena productiva. Al tenerse un material limpio podría (en función también del destino final) omitirse la transformación de "trozos" a "pellets" para su introducción a proceso directamente.

Sin embargo la gran mayoría de los "reclamadores" lavan y transforman los "trozos" en "pellets". Estos últimos tan mencionados "pellets" se obtienen fundiendo los "trozos" haciéndolos pasar por un extrusor.

4 Uso Final:

Una vez que el plástico es tratado hasta llegar a ser "pellet" este puede venderse para hacer con él todo tipo de material. En este sentido el lector podrá encontrar una lista exhaustiva de más de 1300 productos en el catálogo de la APC (<http://sourcebook.plasticsresource.com>).

El ciclo aparece más interesante a nuestros ojos por los papeles que pueden jugar incluso diversos actores económicos y/o empresas en una integración vertical. En México nos encontramos con una aplastante mayoría de empresas que abarcan el proceso completo⁸⁵.

4.2 El Proceso Mecánico de Reciclaje

El reciclaje de plásticos ha dejado grandes ganancias en los últimos veinte años⁸⁶. La mayoría de las personas asocia el reciclado con tan solamente contenedores y con los camiones recolectores de basura, dejando a un lado los contenedores de plástico y otros reciclables. Pero ¿qué pasa con los desechos plásticos después de que fueron llevados a ser reciclados? El sistema más común reciclado de plásticos en los Estados Unidos es el Proceso Mecánico. Este consiste en el reciclado directo y la conversión de plásticos, desde los materiales desechados hasta las madejas de plástico. Estas "pellets" recicladas son reintroducidas dentro del proceso productivo de nuevos productos⁸⁶.

4.2.1 Después de la recuperación⁸⁷

Las botellas de refresco, de detergente y otros utensilios del cuidado del hogar terminan en el sistema de reciclado, cuando los consumidores desechan los plásticos para ser reciclados. Estos junto con otros materiales reciclados van directamente a un MRF (por sus siglas en inglés, Material Recovery Facility, un Facilitador de Recuperación de Materiales), donde estos son clasificados, ya sea de forma mecánica o manual, de otros tipos de materiales reciclables tales como

⁸⁶ <http://www.americanplasticscouncil.org>

⁸⁷ En general el proceso de reciclaje descrito se toma de las referencias citadas a lo largo del presente trabajo con particular relevancia de las conversaciones con personal de Avanguardia de México

vidrio y metales. Los plásticos se encuentran mezclados indistintamente, por lo que requieren ser clasificados por su tipo de plástico. Esto ocurre en un MRF o con un transformador, quien solamente clasifica los plásticos. Estos plásticos separados de forma genérica son empacados por separado y enviados a un recuperador.

Los materiales plásticos se separan de la basura a través de rejillas o mallas. Estas mallas especializadas filtran las pequeñas partículas de basura y suciedad que pudieran existir, estos pasan a un basurero especial – esto constituye la primera etapa para remover los contaminantes.

Los materiales plásticos reciclables son sometidos a un proceso de molienda y de lavado. Para posteriormente ser cortados en piezas pequeñas. Este procedimiento remueve etiquetas y otros contaminantes adheridos a las paredes facilita en gran parte la etapa del lavado. El proceso de remoción y limpieza consiste en agregar agua suavemente y remover los contaminantes de las hojuelas plásticas que se formaron durante el proceso⁸⁸.

Estas hojuelas son transportadas a un sistema de lavado. Algunos sistemas utilizan agua tibia y algún tipo de agente limpiador. Otros sistemas usan agua a temperatura ambiente, que es calentada por la acción mecánica del proceso de lavado. Aquí los residuos que pudieron haber quedado, la suciedad, etiquetas y demás son eliminados.

Los plásticos mezclados y los contaminantes son separados utilizando un tanque de flotación. Los diferentes tipos de plásticos tienen diferentes densidades. Donde el PEAD es menos denso que el agua y por lo tanto puede flotar. La basura y los plásticos de mayor densidad se hundirán y facilitarán la limpieza. Para el proceso del PET ocurre lo contrario. El PET es más denso que el agua y se hunde, mientras los contaminantes son menos densos que el agua y por lo tanto flotan⁸⁹.

Es de uso común que el agua de proceso sea reutilizada.

En la etapa de limpieza son separados los pedazos de plástico para posteriormente ser secados por medio de aire caliente. Un compresor de aire es utilizado para separar las películas y etiquetas de los pedazos de plástico. En esta etapa del proceso, los pedazos caen dentro de la corriente y son separados en ligeros y pesados.

Los trozos de plástico son fundidos, filtrados y formados en madejas formadas dentro del proceso de extrusión. Los trozos de plástico son mezclados en largas tolvas para minimizar la variación de la calidad de los productos. Los trozos uniformes de plástico para alimentar un extrusor – un tornillo rotatorio transportado

⁸⁸ <http://www.epa.gov/ttr/gdcs/nevada.pdf>

⁸⁹ Edward A. Muccio, "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994 & <http://www.plasticsresource.com/recyclinn/>

dentro de un cilindro a cierta temperatura – Al final del extrusor el plástico fundido es limpiado de partículas no fundidas y esta resultante se fuerza a través de un plato perforado, formándose así tiras de plástico que secan rápidamente y se corta con facilidad para formar “pellets”.

Los pellets son guardados y enviados como materia prima a las plantas manufactureras. El reciclado de pellets son igualmente mezclados con resina virgen, o usados directamente en el proceso de manufactura de plásticos. El resultado reciclado contienen productos que pueden ser encontrados en diversas aplicaciones

4.2.2 Reciclado Comercial

El sesenta por ciento de todos los productos y empaques plásticos producen en Estados Unidos son consumidos en los sectores económicos americanos como agrícola, comercial, industrial e institucional. El sector “Comercial” – el cual incluye, entre otras cosas, los establecimientos tanto minoristas como mayoristas, hoteles, edificios de oficinas, aeropuertos y estaciones de tren, así como comercios especializados (Outlet), que distribuyen y/o venden productos o servicios de consumo – que representan una fuente potencial de plásticos para reciclado-. Artículos que han sido recuperados desde las mismas naves comerciales durante muchos años: flores y cubetas, latas de refresco y cajas de leche o jugo, baldes de comida, etc...

Más recientemente, grandes cantidades de empaques de plástico como bolsas de lavanderías y otras películas plásticas son recuperadas para su reutilización. Adicionalmente, las industrias de la electrónica y de tecnología de información han implementado programas para recuperar plásticos de bienes duraderos como computadoras y otros equipos de oficina.

La APC está trabajando junto con los clientes de los productos comerciales y áreas de empaques para desarrollar costos más efectivos y técnicas más eficientes para mejorar substancialmente esos programas. Una breve descripción de algunas de esas iniciativas son las siguientes:

- Recuperación de Películas
- Reciclado Colectivo de Plásticos provenientes del sector Manufacturero
- Implementación de rigurosos controles de calidad
- Desarrollo de materiales educativos y retroalimentación a empleados

Más de 350,000 libras de plástico al año son recolectados y comercializados gracias a estos esfuerzos comunes⁹⁰.

⁹⁰ Otros recursos adicionales de la APC in <http://www.americanplasticscouncil.org/benefits/economic/economic.html>
“Guía de Recuperación de las Películas Plásticas”

Realmente puede sonar fuera de la realidad, pero dentro del mundo de la moda existen incluso **ropas de botellas de vinil**, la ropa manufacturada por post-consumidores del PVC reciclado, piensan que puede cambiar la industria de la moda. Rohvyl, un fabricante de ropa y Elf Atochem, una compañía de aditivos francesa, están trabajando conjuntamente para desarrollar tecnología y transformar las viejas botellas en nueva ropa. Ellos ya han creado suéteres de moda, así como bufandas y calcetines, con fibras utilizadas para producirlos son hilos provenientes de las botellas de PVC recuperadas que son utilizadas para agua mineral. Aproximadamente se necesitan 27 botellas para producir un suéter, y las fibras son una combinación de lana y vinil, en una proporción de 70/30 (70% lana y 30% de las fibras obtenidas de botellas de vinil). En Francia se usa aproximadamente cuatro mil millones de botellas anualmente, y gracias a las técnicas innovadoras de reciclado, como esta, la mitad de estas botellas son recicladas⁹⁰.

Empaques

Transporte de Empaques - estrategias rentables para reducir, reutilizar y reciclar en la industria de Comestibles.

La industria de comestibles se caracteriza como una de las más grandes generadoras de empaques. La necesidad de trabajar con tiendas, distribuidores, comerciantes, establece altas prioridades.

Usar 'pellets' plásticas en lugar de 'pellets' de Madera puede traer beneficios tanto directos como indirectos. (Un comercializador y distribuidor ahorran aproximadamente \$556,000 USD por año en costos indirectos según resultados de un estudio publicado por la APC⁹¹).

Computadoras

El plástico que es desechado por computadoras y otros productos electrónicos, se calcula que en Estados Unidos se obtienen cada día 25,000 libras y pueden llegar a ser arriba de 13 millones al año. Como un millón de computadoras se utilizan diariamente, es realmente impresionante lo que pasa con las computadoras que "mueren" o son "reemplazadas" por unas de mayor capacidad.

Otros Electrónicos

Estudios relacionados con el reciclado de plásticos de los equipos electrónicos, involucran un trabajo de cooperación estrecha con los fabricantes de equipos

Provee una guía para la identificación, separación, densificación, transportación y comercialización de las películas plásticas recuperadas de los negocios comerciales, institucionales e industriales

⁹¹ <http://www.americanplasticscouncil.org/benefits/economic/economic.html>

Además Hay ahorros adicionales que se pueden obtener en los costos de transporte

originales, las asociaciones comerciales, como la Asociación de Manufactureros de Aparatos Electrodomésticos (por sus siglas en inglés AHAM – Association of Home Appliance Manufacturers), asociación de la Industria de Tecnología de la Información (por sus siglas en inglés ITIA - Information Technology Industries Association), la Asociación de la Industria Electrónica (por sus siglas en inglés EIA – Electronic Industry Association) – , así como las agencias de gobierno, como el Departamento de Energía (Department of Energy) y el Departamento de Comercio (Department of Commerce).

Alfombras

Una compañía innovadora, Collins & Aikman Floorcoverings, ha encontrado una manera de desviar millones de libras de carpetas desechadas de tiraderos cada año a través de un programa que llaman "Iniciativa Infinita" ("Infinity Initiative"). Este proceso corta, granula y recicla los "pellets" recuperados de los tapetes o alfombras desgastados para convertirlos en productos para pisos industriales. Estos nuevos productos son más fuertes, con mayor duración y duran más que los que están reemplazando y también pueden ser resistentes al agua, irrompibles y no se deterioran fácilmente. Collins & Aikman recientemente introdujeron un tapete reciclado con un 75% de forro de vinil reciclado⁹².

DuPont, quien es el inventor del nylon – la primera fibra hecha por el hombre - en 1938, también recicla tapetes de nylon. Tiene un proyecto conocido como "El programa de Recuperación de Tapetes DuPont". Dupont como punta de lanza de la industria, fue la primera en establecer el sistema en el ámbito nacional, este sistema consiste en remover cualquier tipo de alfombra o tapete – sin importar la marca ni el tipo de fibra o material del cual este constituido - y reemplazarlo por esta "nueva" alfombra comercial. En vez de desecharse, los tapetes o alfombras usadas son convertidos en partes de automóviles, tapetes industriales, materiales aislantes de sonido y relleno. A través de las ochenta locaciones que tiene DuPont por todo Estados Unidos y Canadá, más de 44 millones de libras de alfombras usadas son recolectadas⁹¹.

BASF también recicla sus propias alfombras a través de una iniciativa llamada "6ix Again", un programa de reciclaje con opciones. Lanzado en 1994, fue en su momento el primer programa de reciclado 'comprensivo' que provee una alternativa para tratar alfombras por todo Estados Unidos y Canadá. El programa está basado en el proceso patentado de BASF para el reciclado de la vieja fibra de alfombra de "Nylon 6ix" de BASF, para procesarla en una nueva alfombra de nylon, permitiendo a BASF que reutilice las fibras recuperadas de las alfombras que de otra manera serían incineradas o desechadas. (www.BASF.com)

⁹² <http://www.plasticsresource.com/recycling/>



Se alimentan alfombras usadas a una trituradora



La Salida de la trituradora son tiras de alfombra



Una banda transporta estas tiras a una unidad de molienda



Los trozos de alfombra se colocan en un vibrador y pasan limpias a un granulador



Un sistema de aire remueve contaminantes adicionales



La corriente de aire transporta fibra de Nylon 6ix

Figura 4.1 Proceso de reciclaje de alfombras (BASF)⁹³

Industria Automotriz

Parte de los Programas de trabajo de Largo Plazo de la APC, es dentro del área automotriz. En conjunto con la OEM, están trabajando juntos para desarrollar, promocionar y dar soporte a prácticas para el manejo de ciclos de vida involucrando plásticos. La Asociación de Reciclado de Vehículos (VRP, por sus siglas en inglés de The Vehicle Recycling Partnership) está colaborando con la APC en gran medida del trabajo automotor. Más recientemente, la APC ha estado involucrada en estudios complementarios con la VRP y Recovery Plastics International, en SALT Lake City, UTAH, en programas específicos de

⁹³ <http://www.basf.com>

recuperación de los plásticos de los vehículos ya sin una vida útil (ELVs por sus siglas en inglés End-of life Vehicles).

Incluso la espuma de Poliuretano, recuperada del relleno de los asientos de los automóviles, tiene el potencial de adquirir buenas propiedades acústicas, es utilizado como material de enlace entre dos capas de barreras materiales para bloquear la propagación del sonido de un lado a otro. El estudio concluye que la espuma de post-consumo puede reutilizarse con buenos resultados en la industria automotriz como relleno de asientos. (www.polyurethane.org/purrc/report1.html) Los retos asociados con el manejo ambiental del sonido y la recuperación de los plásticos provenientes de los automóviles y la aplicación de los residuos triturados (ASR, por sus siglas en inglés Appliance Shredder Residue), es también tratado en el Plan Total de la APC⁹⁴.

Llantas y Cables

Por lo complejo del sistema de cableado y la dificultad para recuperar el plástico que cubre las llantas, actualmente el reciclado de llantas y cables, se ha convertido en uno de los retos más grandes. Sin embargo, una compañía, Philip Environmental, en Hamilton, Ontario, Canadá ha recuperado exitosamente este tipo de desecho, purificándolo y revendiéndolo para utilizarlo en productos como paneles de sonido para el automóvil, y tapetes para piso. Philip Environmental recicla aproximadamente 12 millones de libras de aproximadamente 500 millones de libras de llantas y cables que se generan cada año en América del Norte⁹⁵.

4.3 Tecnologías avanzadas de reciclaje⁹⁶

El reciclaje conocido como reciclaje químico o avanzado incluye una familia de procesos que con la ayuda de calor separan los componentes fundamentales de los plásticos (como un "simil" del cracking en las refinerías de petróleo). Estos componentes se usan entonces como reactivos en otras reacciones. Estos llamados intermediarios usualmente se presentan como líquidos y gases y a veces como ceras o sólidos. Por lo general se usan para la producción de plásticos nuevos o en síntesis orgánica de otros productos. Estas tecnologías complementan el convencional proceso mecánico de reciclaje que curiosamente a pesar de su simpleza puede resultar poco factible o conveniente⁹⁷.

Como en cualquier otro caso de reciclaje debe de evaluarse su factibilidad técnica y comercial principalmente. Los puntos críticos los hemos encontrado ya con los procesos mecánicos sin embargo en el caso del reciclaje químico debe de prestarse particular atención a todos los pasos ya que aún no se ha comprobado su sustentabilidad por completo. Hoy día estas tecnologías continúan en desarrollo y en un Mercado competitivo es difícil si no es que imposible considerarlas por lo

⁹⁴ <http://www.americanplasticscouncil.org>

⁹⁵ <http://www.plasticresource.com/recycling>

⁹⁶ http://www.plasticresource.com/recycling/recycling_backgrounder/bk_advanced.html

pronto, particularmente en el caso mexicano. Sin embargo el interés como en toda creación de conocimiento es también a largo plazo.

4.3.1 Obtención de Intermediarios Químicos

En este apartado, reconocido en inglés por el término "feedstock recycling", se engloba principalmente la depolimerización térmica de poliolefinas y poliolefinas sustituidas en moléculas de hidrocarburos intermedios (Como un ejemplo puede usarse para el PE). En algunos casos incluso puede llegarse a depolimerizar polímeros de adición directamente en monómeros a una razón relativamente alta. Como ejemplo están del Poliestireno al Estireno y del Poli Metil Metacrilato a Metil Metacrilato.

En ciertos casos pueden encontrarse procesos que arrojen gas de síntesis mismo que puede utilizarse directamente en otras corrientes de proceso. Del mismo modo que el gas de síntesis los productos obtenidos pueden usarse en procesos químicos diferentes. La depolimerización térmica de algunos "commodities" como el polietileno y el polipropileno tiene algún parecido con el "cracking" que se lleva a cabo en las refinerías. El proceso debe llevarse a cabo en ausencia de oxígeno o aire para evitar la combustión y la obtención de calor, CO₂ y agua⁹⁷.

Dentro de algunas investigaciones en este sentido se citan las realizadas recientemente por APC (The American Plastics Council) en conjunto con Conrad Industries (Chehalis, Washington) para ensayar los resultados de la pirólisis de una mezcla limpia de 60% HDPE, 20% PP y 20% PS. En la corriente de salida (líquida a 783 Kelvin – i.e, 510 °C –) se adicionó PET y PVC y se demostró la factibilidad técnica de una posterior refinación, sin embargo los costos comparados con los costos de refinación de petróleo convencional no fueron competitivos (*in* <http://www.americanplasticscouncil.org/>). En relación con esta referencia existen hoy en día investigaciones orientadas a separar mezclas de varios plásticos para la posterior obtención de compuestos de mayor valor tales como los monómeros de etileno y propileno.

El departamento de energía de Estados Unidos (país que es el mayor productor de plásticos del mundo) ha estudiado la liquefacción así como la gasificación⁹⁸ de

⁹⁷ Fouhy, Ken and Kim, Irene, December 1993. "Plastics Recycling's Diminishing Returns." *Chemical Engineering*.

⁹⁸ Gasificación

La gasificación tiene el mismo principio que la pirólisis: el calentamiento convierte las grandes cadenas de carbono en pequeñas cadenas, pero se lleva cabo en condiciones más drásticas que la pirólisis (temperaturas arriba de los 900°C y presiones arriba de los 60 bares). El gas de síntesis obtenido de la gasificación puede ser usado para producir electricidad, metanol o amoníaco (Fouhy, Ken and Kim, Irene, December 1993. "Plastics Recycling's Diminishing Returns." *Chemical Engineering*).

Metanólisis y glicólisis

Metanólisis y glicólisis para el reciclado de PET han sido desarrolladas por DuPont, Hoechst Celanese, Eastman Chemical y Shell Chemical. Debemos entender que la metanólisis es la ruptura de las cadenas causada por metanol y glicólisis la ruptura de un enlace glicosídico causada por alguna sustancia. La alcoholólisis ha sido usada también por Sherwin Williams para convertir residuos de PET en políesteres solubles. Esta alcoholólisis es asistida por un catalizador tal como Ba(OH)₂

mezclas de plásticos de post-consumo con carbón para producir combustibles eficientes. El trabajo a llegado hasta la construcción de plantas piloto. Otro ejemplo es de Texaco en dónde se ha investigado con detalle el proceso de gasificación de plásticos par producir gas de síntesis (H_2 y CO). En Europa BP-Amoco mantiene investigaciones en relación con la transformación vía pirólisis de cauce fluido⁹⁹, de poliolefinas a productos petroquímicos.

4.3.2 Depolimerización

Ciertos polímeros de adición o condensación pueden tratarse para recuperar los monómeros que los componen. Ejemplos en este sentido son:

- Poliésteres (v.gr., PET de botellas)
- Poliamidas(v.gr. Nylon en alfombras)
- Poliuretano(v.gr. Relleno de asientos)

Las largas cadenas de los polímeros pueden tratarse químicamente o térmicamente para romperlas en partes más pequeñas. Cuando se trata de recuperar los compuestos que originalmente se usaron para obtener el plástico se obtiene una **recuperación de inventario**. Si el tratamiento arroja otros varios compuestos, quién procesa decide el uso final de estos productos, ya sea para combustible, para producción de plásticos o alguna combinación de estas alternativas, mismas que brindan una oportunidad de comercialización.

Depolimerización para recuperación de inventarios

Muchos de los procesos comerciales de recuperación existen para recuperar monómeros para su uso posterior como reactivos a partir de una depolimerización. El proceso de depolimerización debe de ser altamente eficiente con poco desperdicio y gran cantidad de producto.

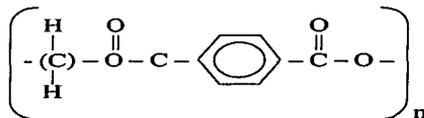
Muchos plásticos presentan ventajas para estos procesos por su naturaleza química.

4.3.2.1 Depolimerización de PET

Como ya sabemos el PET es un polímero de condensación que se forma combinando 1 molécula de ácido tereftálico y 2 de etilenglicol, formando bis-hidroxietil tereftalato (BHET) que se condensa para formar PET. Cuando se condensan "n" moléculas de BHET para obtener PET, (n-1) moléculas de

⁹⁹ Hay muchas variantes de la pirólisis: pirólisis de cauce fijo, de cauce fluido, de cauce dirigido y de cauce agitado. Entre estos, el cauce fluido ha recibido especial atención porque pueden convertir una gran variedad de materiales, incluyendo plástico, aceites, aguas cloacales, en petroquímicos crudos (Kastner, H. and Kaminsky, W. May 1995. "Recycle Plastics Into Feedstocks." *Hydrocarbon Processing*, 74:109-12.). Los sistemas de cauce fluido, usan un gas de polímero o un gas inerte para fluidizar el cauce de arena, a temperaturas entre los 400 y 800oC, para producir productos de petróleo líquidos. El cauce fluidizado de arena provee un buen mezclado y transferencia de calor (8:31). Las ventajas de la pirólisis son: a) no involucra un paso de separación, b) recupera lo plásticos en sus materias primas, de manera que, se pueden rehacer polímeros puros con mejores propiedades y menos contaminación.

etilenglicol se recirculan para favorecer la reacción. Se dice que el PET tiene un grado de polimerización "n".



Poli(etileno) Tereftalato

Figura 4.2 PET¹⁰⁰

Ácido Tereftálico + 2 Etilenglicol \rightleftharpoons BHET + 2 H₂O n BHET \rightleftharpoons PET + (n-1) EG
 Para fines prácticos el esquema arriba presentado indica la reversibilidad de las reacciones. Esto implica que en las condiciones de catálisis y temperatura correctas añadiendo PET y Etilenglicol podemos obtener BHET por depolimerización de PET. A este proceso se le conoce como *glicólisis* y se lleva cabo a más de 240 ° C con un exceso de Etilenglicol¹⁰¹.

Si el BHET fuera tratado con agua resultaría ácido tereftálico por medio de *hidrólisis*. Este tipo de proceso es comercialmente posible y se han propuesto varios para el PET de post-consumo.

Si en vez de tratar el BHET con agua, utilizáramos metanol, se formaría el éster dimetilico del ácido tereftálico conocido como DMT, así como también Etilenglicol. El DMT se purifica por cristalización y/o destilación y puede usarse para sintetizar PET en vez del propio ácido tereftálico. A este proceso se le conoce como metanólisis, misma que se practica de manera comercial desde los años 60 en Estados Unidos, usando PET de pre y post-consumo. El proceso de metanólisis⁹⁸ se lleva a cabo con PET fundido a temperaturas del orden de 250°C con el uso de catalizadores. A esta temperatura deben de observarse medidas de seguridad estrictas. Los productos de la reacción Etilenglicol y DMT se usan para producir PET. Para llevar a cabo un proceso como la metanólisis se requiere de infraestructura de capital importante para la reacción y la posterior purificación. Debido a esto es que deben de considerarse escalas grandes para que resulte

¹⁰⁰ Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." Chapman & Hall, 1991

¹⁰¹ I.M.Campbell. "Introduction to the synthetic Polymers" Oxford Science Pub., 1994

económicamente factible el llevarlo a cabo. En principio la metanólisis puede tratar con mayores cantidades de contaminación en comparación con el proceso de glicólisis. Resulta atractivo cuando pueden obtenerse grandes cantidades de PET a bajo precio. Hoy en día la producción de PET se hace con base a ácido tereftálico por cuestiones de economía¹⁰².

4.3.2.2 Depolimerización de Nylon

Los tipos de Nylon son polímeros que pueden ser separados de manera eficiente en intermediarios químicos listos para recuperar inventarios tal y como se ha visto en los casos anteriores. En particular son el nylon 6 y nylon 66, usados en alfombras y también en elementos moldeados, los que encuentran aplicaciones. La obtención de Nylon 6 es a partir de caprolactama misma que se hace reaccionar para obtener polímeros.

Durante la polimerización el anillo de la molécula de caprolactama se abre para formar una cadena a partir de este monómero. El nylon 66 es un polímero de condensación formado a partir de hexametilendiamina (HMD) (el primer 6) y ácido adipico (el segundo 6). Sin embargo a diferencia de los poli ésteres su depolimerización no se hace simplemente revirtiendo la polimerización¹⁰³.

Como referencia, investigaciones se están realizando, de acuerdo con APC, para recuperar caprolactama a partir del nylon presente en alfombras utilizando como catalizador ácido fosfórico y una corriente de vapor de alta a temperaturas de más de 250°C, separando después los productos por algún método convencional. Este proceso sin embargo no se encuentra referenciado y es probable que se encuentre en fase experimental¹⁰⁴.

El caso anterior es interesante desde el punto de vista de recuperación de nylon en alfombras, ya que en éstas puede encontrarse nylon 6 y nylon 66 juntos. En este sentido se han separado los dos nylons de alfombras desechadas y se les ha sometido a un tratamiento llamado aminólisis. La mezcla de nylons se somete a temperaturas superiores a los 300°C combinándolos con amoníaco en presencia de catalizadores. Los productos de la aminólisis se destilan para recuperar HMD, caprolactama cruda y otros "monómeros". La caprolactama cruda se refina aún más para obtener monómeros para fabricación de nylon 6. La HMD y los otros subproductos se hidrogenan y separan para obtener monómeros para la fabricación de nylon 66. La recuperación de los reactivos a partir de nylon 6 y nylon 66 requieren de capital importante y experiencia, además de completo conocimiento del proceso químico¹⁰⁴. En principio tomando como base el valor económico del nylon, su recuperación a partir de alfombras y partes de automóviles se espera como proceso comercial para el año 2002.

¹⁰² The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « Le recyclage des matières plastiques, une activité économique dans toute sa complexité », 1991

¹⁰³ Miller, Andrew. January 3, 1994. "Back to Basics." *Chemistry and Industry*

¹⁰⁴ <http://www.americanplasticscouncil.org>

Depolimerización de Poliuretanos

Los Poliuretanos pueden ser depolimerizados para formar compuestos útiles. Típicamente estos se forman con disocianato y un glicol (v.gr. Etilenglicol). En teoría pueden depolimerizarse vía hidrólisis o glicólisis como los poliésteres o también vía "aminólisis" como el nylon¹⁰⁵. La principal fuente de poliuretano sería la espuma de relleno presente en los autos.

Comercialmente el proceso mayormente adoptado ha sido el de glicólisis. El poliuretano es limpiado mecánicamente de otros polímeros. Una vez limpio se hace reaccionar con algún glicol (v.gr. di-etilenglicol) para formar un poliol que debe de purificarse para reingresar a un proceso de síntesis de poliuretano. La glicólisis de poliuretano puede ser económicamente factible pero mayor desarrollo se necesita para tolerar mayor contaminación en el material de post-consumo^{99/106}

Perspectiva

Los procesos de reciclaje avanzado representan un avance tecnológico importante que ya se está utilizando en grandes compañías en donde algunos polímeros son tratados ya no por el proceso mecánico sino por alguno de estos métodos. La gran ventaja consiste en que suministran al final del tratamiento materiales que son idénticos a los necesarios en el inventario de producción de nuevos plásticos y otros compuestos¹⁰⁷.

Asumimos que muchos de los procesos relacionados en este capítulo son candidatos a ser factibles en un futuro para la producción de compuestos petroquímicos por tratarse de procesos lo suficientemente robustos. Sin embargo es necesario mucho mayor avance y experiencias de éxito para su uso en el gran público industrial. Actualmente es poco probable que la economía permita acelerados desarrollos de investigaciones comerciales en este sentido por encontrarse opciones más convenientes en el mercado.

¹⁰⁵ <http://www.polvurethane.org/purc/report1.html>

¹⁰⁶ Varlos, "Recyclage des Plastiques: Photographie de la Filière Française", La Lettre Ademe, No 45, 1997

¹⁰⁷ <http://www.americanplasticscouncil.org/benefit/economic/economic.html>

4.4 Reciclados de durables

Los artículos manufacturados con una vida útil mayor a tres años, como los automóviles, los electrodomésticos, computadoras, productos de edificios y de construcción están clasificados como de por vida¹⁰⁸. Mundialmente, el número y tipos de bienes perdurables manufacturados y vendidos, se incrementa rápidamente cada año. Algunos de estos artículos tienen relativamente una vida útil más corta, por ejemplo las computadoras. La vida útil de otros, como los productos de construcción, puede llegar a ser hasta de 100 años¹⁰⁹.

El uso de plásticos en todas estas aplicaciones continúa creciendo en volumen e importancia mientras que Ingenieros de Diseño, Fabricantes y los consumidores confían en su funcionamiento, bajo costo y las ventajas de los plásticos. Hoy en día, ha cobrado fuerza y ha crecido gracias a los beneficios ambientales que ha traído consigo el ciclo vital del plástico¹¹⁰.

Ya que el Mercado de bienes perdurables se incrementa cada año, se incrementa también el desecho de estos bienes. Esto ha llevado a que aumente la atención en la reparación y reutilización, de material y energía recuperada, y también en el desperdicio de bienes durables (cf Capítulo anterior). Automóviles al final de su vida útil, por ejemplo, son reciclados en Estados Unidos en un porcentaje superior al 75%¹¹¹.

Han existido muchos programas pilotos para los bienes perdurables; estos han sido orientados a los metales recuperados, incluyendo los ferrosos, no ferrosos y los metales preciosos. Pero los plásticos han tomado un rol de mayor importancia dentro de los bienes perdurables, de acuerdo con publicaciones de la APC el interés es cada vez mayor¹¹². Últimamente, se ha llevado a cabo un acercamiento integrado que involucra la reutilización, el reciclado mecánico, el reciclado químico así como la recuperación de energía¹¹³. En la práctica, los proyectos individuales asumidos por la APC representan los esfuerzos conjuntos con la industria de todos aquellos involucrados de alguna manera ("stakeholders" de acuerdo con la terminología del "Project Management Institute")¹¹³. En este renglón se ubican los Fabricantes de Equipos Originales (OEMs por sus siglas en inglés Original Equipment Manufacturers), y recicladores, así como universidades y agencias gubernamentales. Para evitar la duplicidad de esfuerzos, los proyectos son diseñados, cuando es posible, para complementar los esfuerzos similares que se realizan en Europa y Japón.

¹⁰⁸ <http://www.socplas.org> (Sitio de la "Society of the Plastics Industry")

¹⁰⁹ The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), «Plastics, a material of choice in building and construction»

¹¹⁰ The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME),

¹¹¹ http://www.apme.org/topics/a_major_european_industry/industry.html »

¹¹² <http://www.plasticsresource.com/recycling/>

¹¹³ http://www.plasticsresource.com/recycling/recycling_background/durables_recycling.html

¹¹³ The Project Management Institute, «Project Management Body of Knowledge» in <http://www.pmi.org/publicn/download/2000download.htm>, 2002

4.4.1 Retos y Oportunidades del Reciclado de Bienes Durables

Los plásticos usados en los bienes perdurables, como ya habíamos mencionado, son por sus características propias un gran reto para su recuperación – tanto económica como técnica - comparados con los materiales convencionales. En parte, esto refleja el hecho de que la infraestructura existente para los artículos que se reciclaban, desarrollada a finales de los años 50, fue diseñada para recuperar los metales, no para los plásticos¹¹⁴. En gran parte, también refleja los desafíos asociados con su funcionalidad, su flexibilidad, y la novedad del plástico.

La cadena empieza como siempre con la recolección de materiales y su posterior separación de ser posible de acuerdo con la identificación impresa, esto debe de hacerse lo más rápido posible para abatir costos. Más adelante existe una reducción de tamaño que permite una mejor separación. Actualmente se desarrollan investigaciones para volver la separación de materiales más eficiente en relación en este caso con la distinción de los plásticos de otros polímeros potencialmente presentes en la corriente de entrada al proceso de reciclaje (cf Hule o elastómeros...). Como hemos visto con anterioridad el proceso se continua con la limpieza y el pelletizado para facilitar la reintroducción en los procesos de manufactura.

Dentro de algunas aplicaciones innovadoras puede considerarse la aplicación de fibra reciclada (Cf. proceso BASF) en la industria de la construcción como aditivo para concreto premezclado o en otros casos como combustible para hornos en la industria del acero o del cemento. (*in* www.plastic-car.com).

En el contexto del presente trabajo resulta importante señalar a manera de estricta comparación y sin olvidar la inminente presencia de la globalización en nuestro país misma que implica la homologación de ciertas prácticas, que hoy en día en Estados Unidos se desarrollan estudios amplios relacionados con el reciclaje¹¹⁵. Algunos de estos por las siguientes instituciones citadas por su nombre en inglés:

- [Association of Home Appliance Manufacturers](#) (AHAM)
- [Information Technology Industries Association](#) (ITIA)
- [Electronic Industry Association](#) (EIA)
- Agencias de gobierno como la EPA (Agencia de protección al ambiente –Environment Protection Agency –), el Departamento de Energía y el Departamento de Comercio.
- Así como la Asociación Internacional de Recicladores de Electrónicos (International Association of Electronics Recyclers - (IAER) -)

¹¹⁴ http://www.plasticsresource.com/recycling/background/durables_recycling.html

¹¹⁵ <http://www.aham.org> - <http://www.eia.org> - <http://www.epa.gov>

A Futuro

Esperaríamos esfuerzos voluntarios por parte de la Industria en respuesta a las tendencias de un Mercado informado que hace del reciclaje también un negocio y una estrategia mercadológica ha empujado al desarrollo de nuevas tecnologías y desarrollo de infraestructura, así como también a iniciativas de transferencia tecnológica a las filiales internacionales. Resalta el papel fundamental del Estado en el impulso de alternativas que en México se enmarcarían dentro del concepto de desarrollo sustentable.

Casos de éxito en el rubro de plásticos durables pueden ser:

- Ford Motor Company y American Commodities, Inc quienes han desarrollado sistemas de ciclos cerrados para el reciclaje de autopartes y Polipropileno en baterías de autos usadas
- IBM y su introducción al Mercado de una computadora personal con partes principales hechas con 100% plástico reciclado.

5 Ambiente competitivo

5.1 Marco Legal

5.1.1 Desechos Sólidos y Sanidad

La mayoría de los municipios de México no tienen regulación alguna sobre el manejo de los desechos sólidos; no tienen una estructura para encargarse del servicio; y carecen de personal entrenado. No existe un sistema para diferenciar los pagos por desechos sólidos provenientes de la industria y el comercio de aquellos generados exclusivamente del que hacer doméstico. Además, aún resulta difícil recaudar pagos proporcionales de usuarios, dado que los usuarios no son directamente responsables.

Se estima que los municipios generan anualmente 29'472,000 toneladas de desechos sólidos. De este total, 70% es colectado, el 17.2% se dirige a rellenos sanitarios y el 82.84% se deposita en basureros abiertos. (Este último porcentaje se debe al hecho de que una gran proporción de la basura colectada se dispone subsecuentemente en basureros abiertos). Un estudio de 1995 desarrollado en 14 municipios urbanos representativos permitió estimar una producción de hasta 1,175 toneladas diarias de basura con un promedio de 731 gr. por día por persona y un rango de 252 gr. a 1,714 gr. por día por persona. En promedio, la cobertura de la recolección fue en 80.2% y 38% de los desechos se disponen a cielo abierto. El Comité Consultivo Nacional de Normalización y Protección Ambiental publicó el **Programa Nacional de Normalización** en donde se establecieron cinco Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relacionadas con el manejo municipal de desechos sólidos. El gobierno federal ha promovido varios estudios en el ámbito nacional para conocer el manejo y disposición final de los desechos sólidos a lo largo del país. La composición de los desechos sólidos en 1994 consistió primordialmente en desechos orgánicos (52%), residuos tales como hule, pañales desechables (19%) y productos de papel y cartón (14%)¹¹⁶.

A partir de 1996 la Secretaría de Salud ha enfocado sus esfuerzos sobre las comunidades menores a 40,000 habitantes, promoviendo la instrumentación de Rellenos Sanitarios Manuales mediante actividades a diferentes niveles: cursos nacionales, regionales, estatales, y promoción de esta técnica en reuniones y foros de salud y servicios municipales. El Programa de las 100 Ciudades también ha brindado asesoría y apoyo técnico en materia de proyectos y concesión para el tratamiento de residuos sólidos en las ciudades de Durango, Uruapan, Zitácuaro, Cuernavaca, Puerto Vallarta, León y Los Mochis. Se han apoyado Proyectos Ejecutivos para Rellenos Sanitarios en: Mexicali (Baja California); Cd. del Carmen

¹¹⁶ Varios, "Análisis sectorial de residuos sólidos en la zona metropolitana del valle de México", Organización Mundial de la Salud, 1998

(Campeche); Cuernavaca (Morelos), y Querétaro (Querétaro). Están en proceso cuatro proyectos ejecutivos de recolección, rellenos sanitarios y estudios de impacto ambiental para las ciudades de Aguascalientes, Guanajuato, Morelia, Uriangato y Manzanillo, y se inició la construcción de rellenos sanitarios en San José del Cabo, Cd. Juárez, Irapuato, Landa de Matamoros, Jalpan, Escobedo, Pinal de Amoles y Ezequiel Montes.

El Banco Mundial financia el programa de manejo de residuos sólidos mediante el cual se proporciona asistencia y apoyo técnico para el desarrollo del Proyecto de Residuos Sólidos, con el fin de fortalecer la capacitación del personal de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y de los estados y municipios en la promoción de nuevas técnicas, transferencia de tecnologías y evaluación de proyectos en las áreas de residuos sólidos.

Se creó una **Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos (REMEXMAR)**, vinculada a la **Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos (REPAMAR)**, apoyada por la Organización Panamericana de Salud, uno de cuyos objetivos es promover el intercambio de información y la transferencia de tecnologías para minimizar la generación de residuos.

5.1.2 Programas del INE

Fomentar el tránsito hacia el desarrollo sustentable del país ante los retos de la competitividad y como factor de certidumbre a las inversiones públicas y privadas.

El avance significativo en la gestión ambiental afianza las bases que dan solidez al desarrollo sustentable para sentar la permanencia al crecimiento que requiere el desarrollo futuro.

Modernización de la regulación ambiental

La normatividad es una pieza básica para la política de regulación ambiental. En el período que se informa se desarrollan tres grandes vertientes con el objeto de construir nuevos esquemas de regulación que confronten todo el espectro de impactos ambientales generados por las ramas de actividad económica de atención prioritaria, privilegiando, a la vez, el uso de tecnologías limpias. En este contexto, se desarrollan esquemas de normatividad para formular nuevas rutas normativas; esquemas de autorregulación en donde la concertación permite ampliar los mecanismos de regulación más allá de las normas oficiales y, mecanismos de regulación directa, que involucran sistemas consolidados de gestión optimizando recursos institucionales y de información.

Actualmente, se encuentran en vigor 45 normas oficiales mexicanas; así como la norma emergente NOM-EM-118-ECOL-1997. Al inicio de la actual administración se encontraban en vigor 79 normas oficiales mexicanas, a 1997 corresponde la expedición de 4 normas oficiales mexicanas y una emergente.

Normas Oficiales Mexicanas

Regulación	Total en vigor
Contaminación del agua	2
Contaminación atmosférica	20
Monitoreo atmosférico	5
Calidad de combustibles	1
Residuos peligrosos	8
Residuos municipales	1
Contaminación por ruido	4
Recursos Naturales	4
Total:	45

Figura 5.1 Normas Oficiales Mexicanas¹¹⁷

En el contexto de la política de autorregulación ambiental se privilegian las iniciativas voluntarias del sector privado. Para alcanzar la meta establecida, se suscriben trece convenios voluntarios, diez de ellos incorporan programas de autorregulación ambiental, tres de normas voluntarias y un convenio para la capacitación en la norma internacional ISO 14001, en donde participan más de 300 empresas de distintos sectores industriales¹¹⁷.

Concepto	1995	1996	1997
Convenios voluntarios		6	3
Normas voluntarias	1	2	
Capacitación ISO 14001		1	
Total:	1	9	3

Figura 5.2 Iniciativas Voluntarias (Autorregulación)¹¹⁷

En materia de regulación directa se pone en marcha el Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria (SIRG), presentado por el Ejecutivo Federal en abril de 1997, como parte de la nueva política ambiental hacia la industria mexicana.

Como complemento a las distintas estrategias de la política ambiental se desarrollan instrumentos económicos, considerados como mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado. En 1997, entre otros, se publica el acuerdo de depreciación acelerada de equipo de control de la contaminación y la relación de equipos de control sujeta a actualización permanente relacionada con el arancel cero sobre equipos de control de la contaminación, establecido mediante decreto por la antes Secofi¹¹⁷.

¹¹⁷ <http://www.ine.gob.mx/damrar/dsrse/m/recicla/plastico.htm>

Reducción y manejo seguro de residuos peligrosos

Dentro de los programas establecidos se contemplan dos vertientes principales:

- *Reciclaje energético de combustible alterno en hornos de cemento.* En México actualmente se generan cerca de 8 millones de toneladas de residuos peligrosos; 3.4 millones son aceites y solventes gastados. A la fecha, existen tres empresas autorizadas y catorce adicionales, se encuentran en etapa de protocolo de pruebas, próximas a ser autorizadas. La capacidad instalada de las empresas autorizadas y de las que se encuentran realizando el protocolo de pruebas se estima en 343 068 toneladas/año, con una inversión de 26.2 millones de dólares en infraestructura, que genera aproximadamente 900 empleos.
- *Residuos municipales.* La estrategia se propone reforzar el marco de regulación para su control y promover, con la participación de la SEDESOL, los gobiernos de los estados y los municipios infraestructura en sitios adecuados de disposición final. Para avanzar en las metas, se planea adquirir Unidades Móviles de Monitoreo Ambiental, con el fin de elaborar el diagnóstico de la situación actual de tiraderos de residuos sólidos municipales¹¹⁷.

5.2 Diferentes Mercados

Como recolector, intermediario, o procesador, el éxito del programa depende en gran parte, de la habilidad para encontrar y mantener un segmento en el mercado. La mejor manera para hacerlo es entendiendo las necesidades del mercado donde se está negociando y nunca bajar, o sea ser constante, en proveer a este mercado con productos de la más alta calidad.

Entendiendo los diferentes mercados

En el reciclado de plásticos, hay cuatro tipos de mercados:

- **Recolectores.-** quien se encarga de transportar los materiales reciclables a los productores o recolectores para su procesamiento posterior.
- **Intermediarios.-** quienes clasifican los plásticos por sus características para ser triturados o granulados.
- **Procesadores.-** se encargan de convertir las resinas de las botellas o contenedores en pellets para ser reutilizados en nuevos productos.
- **Usurarios Finales.-** son quienes reutilizan los plásticos para convertirlos en nuevos productos con contenidos de plásticos reciclado.

El tipo de tratamiento que debe recibir los materiales plásticos depende en gran medida de a cual de los segmentos anteriores va dirigido, por ejemplo, los requisitos de preparación y la separación generalmente son más estrictos con los

procesadores que con los intermediarios o recolectores, pero también el precio es mucho más alto con los procesadores. Por lo que se vuelve esencial, para iniciar una compañía de reciclado, determinar que tipos de plásticos se pueden conseguir, que capacidad se tiene para procesarlos, una vez definido esto uno puede elegir al segmento al cual dirigirse, y que si un mercado requiere de una clasificación más específica y no se cuenta con la capacidad para hacerlo es no mejor no elegir ese tipo de segmento.

Cabe resaltar que un factor de éxito es la flexibilidad que se pueda tener a los cambios del mercado, de la demanda, y la tecnología. Entre más flexible sea un sistema más fácil va a ser que responda a los cambios de estas variables.

En cuanto a la información en México sobre el mercado de reciclados, se puede decir que es casi nula, mientras que en Estados Unidos, la APC (Association of Post-Consumer Plastics Recyclers), cuenta con una base de datos de más de 1,500 compañías que de alguna u otra forma requieren de insumos plásticos.

Una guía rápida de soporte para abrir un mercado se basa en los siguientes pasos:

1. Hacer una lista con posibles empresas que requieran de insumos plásticos.
2. Para saber que tipo de especificaciones se requieren se pueden realizar las siguientes preguntas:
 - a. ¿Qué tipo de resinas plásticas utiliza? (Botellas, contenedores, PET, HDPE, tubos, transparentes o de color,...)
 - b. ¿Cómo requiere que este preparado el material? (Puede ir mezclado con otros materiales, o diferentes plásticos, o deben ser clasificados por tipo, color,...)
 - c. ¿En qué forma requiere el material? (Granulado, empacado, si tienen especificaciones de tamaño, densidad,...)
 - d. ¿Cuál es la cantidad mínima y máxima aceptable para ser transportado? (Camiones llenos, parciales, pequeñas cantidades)
 - e. ¿Requieren de algún tratamiento especial?
 - f. ¿Quién se encargaría del transporte del material? (el cliente, el intermediario,...)
 - g. ¿Qué pasaría si un lote es rechazado o devuelto? (niveles de contaminación aceptada, cambios en precios, quien pagaría los costos de transporte, proceso...)
3. Términos de pagos y tarifas

Mercado de Plásticos

Una vez seleccionado el mercado, es necesario mantener los controles de calidad muy altos, así como tener un amplio conocimiento de los desechos, especialmente de aquellos materiales que pueden ser recuperados para ser reciclados.

Algunos materiales desechados son sumamente sencillos de clasificar como latas de colores, o de metal pueden ser clasificados en acero o aluminio, otros sin embargo, como los plásticos pueden causar confusión porque la cantidad tan diversa de resinas utilizadas para producir productos o empaques. Ya que cada resina tiene características y propiedades únicas que determinan como deben utilizarse, por ejemplo el PS tiene un punto muy bajo de fusión y aislamiento, por lo que se usa en tazas y platos, sin embargo el PP tiene un punto de fusión y resistencia al calor, que puede ser un "hot filled", con productos como las botellas para catsup o concentradores de sabor.

Otros factores que influyen en la selección de resinas son el costo de las mismas, el costo del equipo que se requiere para su procesamiento, la capacidad, la cercanía con el productor de las resinas. Además de los avances tecnológicos en los diseños de los empaques que pueden influenciar en la selección del tipo de procesamiento.

Aunque los avances tecnológicos y las prioridades sociales juegan un papel muy importante, por ejemplo con la popularidad del microondas, fue necesario desarrollar nuevas formas para mantener congelada la comida, y que también permitiera resistir altas temperaturas.

Todo esto es un círculo, hay que entender que los plásticos no son iguales y que las botellas de plástico y contenedores irán cambiando según las necesidades y los cambios tecnológicos, el ir de la mano con estos cambios dentro del reciclado permitirá la permanencia de la empresa en el mercado, ya que se tiene como consecuencia inevitable cambio en las necesidades del mercado, y por lo tanto hay que conocer las nuevas demandas de los consumidores, y si se puede, ir más adelante que ellos¹¹⁸.

Contaminantes

Debido a que en la fabricación de los empaques plásticos se utilizan diferentes resinas que presentan diferentes propiedades para su reciclado, generalmente los que requieren los plásticos como insumo piden ciertas especificaciones como la clasificación; por ejemplo que las botellas de plástico (refrescos, jugos,...- contenedores con un cuello-) sean separadas de los contenedores de plástico (cajas, - empaque ancho sin cuello-). Esto permite que cada resina contiene con sus características especiales que permitan que su resultado sea más rápido y de mejor calidad.

¹¹⁸ http://www.plasticsresource.com/recycling/community_recycling_materials
- <http://www.plasticsresource.com/recycling/>

5.2.1 Diferentes Propiedades

Por ejemplo el PET requiere una temperatura mayor que el PVC. Si estuvieran mezclados para ser reutilizados muy probablemente el PVC se quemaría y se descoloraría, y si fuera a la temperatura del PVC faltaría calor para que el PET se fundiera. Esto afectaría a la calidad del producto, creando un gran problema para su reutilización y aprovechamiento.

5.2.2 Diferentes Procesos

Algunas veces los procedimientos de manufactura original requiere esa misma resina tenga diferentes propiedades por ejemplo algunos contenedores de HDPE, como botellas de leche, jugo y detergentes, son hechos en un proceso llamado de "soplado". Otros contenedores de HDPE, como los botes de margarina o de helado, son hechos en un proceso diferente llamado de "inyección". Ambos procesos requieren de diferentes niveles de fluidez para el plástico. En el proceso de soplado se requiere un plástico con una mayor dureza y corriente mientras que en el proceso de inyección requiere de un plástico delgado. Cuando las resinas producidas en diferentes procesos son mezcladas, el nivel de la fluidez resulta no ser apropiado para ser reutilizado en ninguno de los dos procesos. Por esta razón, las empresas que solicitan el plástico piden a los recicladores que separen el plástico reciclado. Una vez comprendido las consecuencias, se puede penetrar más fácilmente al mercado¹¹⁹.

Una vez comprendidas las consecuencias, se puede penetrar más fácilmente en el mercado, haciéndoles ver los beneficios en cuanto a la calidad y ganancias económicas que se logran al tener un mejor manejo de plásticos (ahorro en tiempo y se mantienen las propiedades).

5.2.3 Aspectos Relativos a la Contaminación

Para poder determinar que tipos de contaminantes pueden tener los plásticos hay que tomar en cuenta los materiales plásticos a reciclar y que fueran fabricados anteriormente. Por ejemplo, algunos tipos de plásticos a reciclar son derivados de trastos, generalmente pueden aceptar grandes niveles de contaminación de botellas que anteriormente habían sido reciclados¹¹⁹.

¹¹⁹ Aguilera Rivero, Margarita., "Basura: Manual para el Reciclaje Urbano", Trillas 1995

Por esto, los productores de trastos pueden aceptar que algunas resinas estén mezcladas o combinadas con botellas y contenedores, mientras que los productores de botellas no pueden aceptarlo.

Metales

Son considerados contaminantes ya que ellos pueden dañar seriamente los equipos de procesamiento. Aunque es importante separar los contaminantes plásticos de los metales, también lo es separar aquellos plásticos con partes metálicas (como lociones, pelotas, entre otros)

Adhesivos

Son contaminantes ya que pueden tomarse de color amarillento al ser procesados a temperaturas fuera del rango recomendado, decolorando los materiales plásticos. Actualmente la mayoría de los plásticos contienen algún tipo de adhesivo, por lo que es indispensable revisar con los clientes, cualquier tipo de restricción.

Pigmentos y Colorantes

No son contaminantes por sí mismos, pero pueden causar algunos problemas en el proceso de reciclado, ya que una vez que el plástico ha sido sometido a un tratamiento de pigmentación o coloración no pueden cambiar de nuevo de color, limitando así su utilización posterior. Es por eso que el plástico transparente (sin pigmentación) tiene una gran demanda en el mercado. Los contenedores o botellas de HDPE como botellas de leche o jugo se mantienen separadas de las que tienen algún tipo de pigmentación como las botellas de detergente.

Tapas y Tapones de Plástico

Estos generalmente son producidos por un tipo diferente de color y de resina, que los que se utilizan para las botellas o contenedores (tapas de botellas de jugos y leche) Por esta razón no aceptan los tapones. Al retirar la tapa significa que la botella o contenedor ya pasaron por el proceso de lavado y/o enjuagado lo cual implica que ya se removió el contenido que hubiese podido causar problemas.

Cualquier Material no Plástico

También puede considerarse como contaminantes ya que la gente que compra plástico quiere estar seguro que esta obteniendo lo mismo por lo que está pagando. El papel, vidrio, agua, residuos de comida, residuos de bebidas y suciedad en general, son considerados como contaminantes. Dependiendo de los productos en los que sería utilizado el plástico, puede tolerarse ciertos niveles y ciertos tipos de contaminación, pero para conocer estas consideraciones se debe estar muy en contacto con las necesidades del mercado, que consideran como contaminante y que no, y que es aceptable y que no¹⁷.

En Estados Unidos donde se encuentra mucho más desarrollado el mercado, ya llevan a la práctica muchas mejoras para maximizar la potencialidad del reciclaje de las botellas de plástico (una de las resinas más utilizadas y por lo tanto de más fácil obtención en el mercado).

La APC (Association of Post-Consumer Plastics Recyclers) desarrolló una guía para facilitar el reciclado de botellas de plástico, al primeramente identificar los diseños específicos de botellas que aumentan la compatibilidad con la tecnología actual de reciclado. Artículos específicos son examinados incluyendo, las tapas, etiquetas,...

- | | |
|--------------------------|----------------------------------|
| ⊕ Barrera de gas | ⊙ Permeabilidad al gas |
| ☑ Barrera de Humedad | ■ Resistencia a químicos |
| ⊕ Claridad | ● Resistencia a grasas y aceites |
| ★ Maleabilidad | ↶ Bajo costo |
| ⊕ Facilidad de mezclarse | ◆ Resistencia al calor |
| ⊙ Facilidad de procesado | ■ Rigidez |
| ⊕ Ease of scaling | ● Dureza |
| ✱ Aislamiento | ★ Versatilidad |
| | ⤴ Flexibilidad |

Figura 5.3 Propiedades y Ventajas de los Plásticos¹²⁰

¹²⁰ <http://www.americanplasticscouncil.org>



Figura 5.4 Propiedades Específicas de los Plásticos más comunes¹²⁰

5.3 Control de Calidad

Al ser un procesador se tienen que tomar en cuenta ciertos factores de calidad en todos los puntos del proceso, almacenamiento y transportación. Estos factores son:

5.3.1 Compactación y Empaque

Los plásticos tienen un gran volumen, poco peso, se vuelve necesaria la densificación antes de ser empacado y/o transportado para ser ingresado al mercado. El proceso más común para la densificación de los plásticos es el empacado. El tamaño de empaque y su peso depende del tipo de empaque utilizado y del tipo del plástico que se va a empacar, aunque no hay una norma sobre la densidad de empaque para ningún tamaño en especial, en rangos generales son de 10 a 15 libras por pie cúbico. Siempre hay que tener determinados los requisitos del mercado para empacar los plásticos¹²¹.

¹²¹ Varios, "Equipements de tri et de conditionnement des matériaux recyclables", Ademe Eco-Emballages, 1996

Integración de Empaque

Los empaques deben ser delimitados con material no corroído, como cable galvanizado o tiras de poliéster.

Granulación

Las Tiras de plástico anteceden a la granulación que puede incrementar la eficiencia de la molienda y la minimización del daño de la misma. Puede instalarse un imán estacionario en la parte superior de la banda alimentadora que ayuda a remover los metales ferrosos que pueden contaminar los plásticos y/o dañar algunas de las partes internas del granulador. Al agregar agua durante el proceso de granulación se liberan o suavizan contaminantes como pegamentos o suciedad en general. En este proceso es importante ver que tanta demanda se tiene del plástico granulado.

Requerimientos de almacenaje

Idealmente todos los plásticos deberían ser almacenados sobre un piso de concreto. Si los plásticos son almacenados a la intemperie, deben ser cubiertos con materiales que los puedan proteger de los rayos UV, como una capa de poliuretano negro, ya que los rayos ultravioleta pueden causar la degradación del plástico con el tiempo. El almacenamiento en pellets puede reducir potencialmente la contaminación por suciedad¹²².

- **Espacio de almacenaje:**

Hay que tener una capacidad adecuada de almacenamiento, para plásticos en espera de ser procesados o ser empacados. Como medidas generales, los plásticos requieren en promedio 36 yardas cúbicas de espacio de almacenaje por 10,000 botellas sueltas, o 3 yardas cúbicas por 10,000 botellas compactadas.

- **Transporte:**

Varía dependiendo de las necesidades del mercado, ya que ellos determinan los volúmenes, si son medio camión, camión completo, o requieren pequeñas cantidades. Pero el medio de transporte este limpio y libre de otros contaminantes potenciales.

Aunque en México todavía no se tienen estándares de calidad, ni lineamientos al respecto, para poder ser competitivos es necesario tener un proceso de principio a fin de alta calidad, ya que sólo así se puede proveer al mercado con materiales que puedan ser como materiales vírgenes. Por lo que no hay que pensar en ser una "empresa recicladora" sino como un proveedor de materia prima plástica.

¹²² Varios, "Recyclage des Plastiques: Photographie de la Filière Française", La Lettre Ademe, No 45, 1997

Por lo anterior, para fijarse estándares de operación uno puede utilizar los controles de calidad, las guías de evaluación de empaques, compactación y granulación que publica la APC en los Estados Unidos.

La degradación de plásticos debido a la exposición prolongada de los rayos ultravioletas, resulta del deterioro de las propiedades físicas de los plásticos.

RESINA	ALMACENAJE MÁXIMO A LA INTEMPERIE
PET	6 meses
HDPE	1 mes
PVC	6 meses
LDPE	1 mes
PP	1 mes

Figura 5.5 Propiedades de Almacenaje (Consideraciones de Logística)¹²³

Tan pronto como se puedan construir mecanismos de control dentro de un sistema, mayor éxito se tenga en la generación de material de la más alta calidad. Así que es importante tener una retroalimentación adecuada del consumidor, de cómo funciona el plástico reciclado en el mercado.

5.4 Valor del Mercado – Oferta y Demanda –

De acuerdo con información reportada en Estados Unidos por la APR ("Association of Postconsumer Plastic Recyclers" por sus siglas en inglés), la industria del Reciclado de Plásticos se enfrenta a una escasez de oferta. La APR en varios talleres a reconocido que la escasez de oferta es una limitante para el desarrollo de la industria.

En relación con la oferta notamos lo siguiente:

- La industria recicladora de plástico estadounidense tiene la capacidad para reclamar 48% más botellas de plástico reciclado de las que actualmente se procesan

¹²³ Leroy, Jean Bernard., "Los desechos y sus tratamientos", Fondo de Cultura Económica, 1987

- La capacidad de lavado de botellas de PET excede en 450 millones de libras la oferta actual.
- La capacidad de lavado de botellas de HDPE excede en 650 millones de libras la oferta actual
- La demanda de Plástico reciclado de Post-Consumo continúa en aumento para – fibras, botellas y contenedores de todo tipo – sin mencionar otras aplicaciones en la industria de la transformación –

5.4.1 Mercado de Exportación

Actualmente el entorno internacional y la tendencia hacia la globalización no hace del mercado de plásticos reciclados una excepción. Dentro de este mercado el presente trabajo propone la categorización utilizada en el esfuerzo común en Estados Unidos del “Consejo Americano para los Plásticos (“APC” por sus siglas en inglés) y el “Consejo para el ambiente y la industria del plástico (“Environment and Plastics Industry Council” –EPIC-) en Canadá¹²⁴.

El trabajo por ellos realizado incluye una base de datos actualizable vía Internet que contiene aproximadamente 1650 compañías de reciclaje de plásticos en estos dos países de acuerdo con las siguientes categorías en compra o venta de:

Plástico de Post- Consumo de origen Residencial – Cualquier plástico que ha ya entrado en el flujo del comercio, servido su propósito y que haya sido recuperado a través de un programa vecinal de reciclaje o a partir de sistemas de recuperación municipal y es actualmente procesado.

Plástico de Post-Consumo Industrial, Comercial o Institucional - Cualquier plástico que ha ya entrado en el flujo del comercio, servido su propósito y que haya sido recuperado vía cualquier proceso industrial, comercial o institucional y es actualmente procesado.

Plástico Industrial defectuoso o de Pre- Consumo – Cualquier producto de plástico en la línea de producción que haya sido reprocesado o pueda serlo antes de sus uso final.

Dentro de los indicadores principales para la estimación del valor de mercado encontramos la siguiente información, referida al procesamiento de botellas de HDPE y PET, para el cual existe más información y en dónde de acuerdo a la APC se concentra la casi totalidad (en las fechas aquí reportadas) de las botellas de plástico recicladas.

¹²⁴ <http://www.americanplasticscouncil.org>

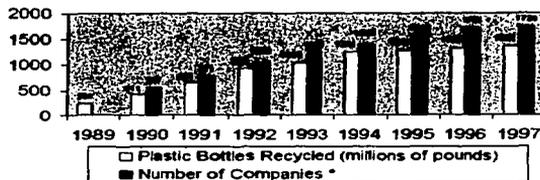


Figura 5.6 Crecimiento de la Industria de procesamiento de botellas de plástico en EUA¹²⁵

5.4.2 Generación de residuos en México

En 1995, la generación total de basura urbana en México se estimó en 30 millones de toneladas, con una aportación per cápita promedio de 329 kg./año, alcanzando en el Distrito Federal valores ligeramente mayores (365 kg./año/persona). Los volúmenes de generación, recolección y disposición final de los residuos sólidos municipales (RSM), se presentan en el cuadro siguiente.

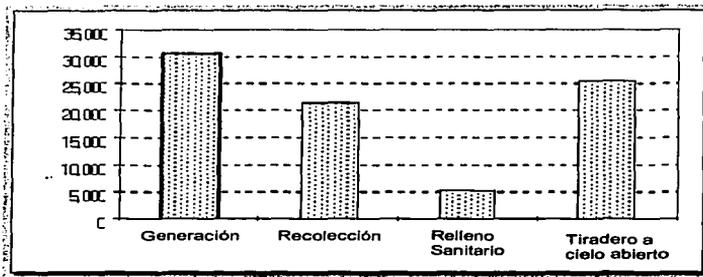


Figura 5.7 Generación y manejo de residuos sólidos en México, 1995
Fuente: Programa de Medio Ambiente 1995-200. Instituto Nacional de Ecología.¹²⁶

Las características y composición de los RSM son función de los patrones de consumo y niveles de ingreso, y han experimentado cambios importantes en los últimos años. La basura pasó de ser densa y casi completamente orgánica, a voluminosa y parcialmente no biodegradable. En 1994, el 53 % de la basura generada en nuestro país era orgánica, mientras que alrededor del 14 % era papel

¹²⁵ <http://www.americanplasticscouncil.org/benefits/economic/economic.html>
¹²⁶ <http://www.ine.gob.mx/dgmrar/darsc/m/reciclaje/plastico.htm>

y cartón, el 6 % vidrio, el 4 % plástico, el 2 % textiles y el 3 % hojalata. El 18 % restante de los materiales de desecho urbano se integraba con madera, cuero, hule, envases de cartón encerado, trapo y fibras diversas. Estos valores son diferentes para las principales capitales y zonas urbanas¹²⁷.

Composición en volumen promedio de los RSM

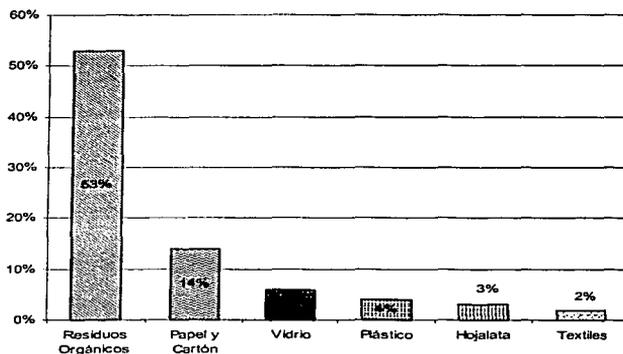


Figura 5.8 Composición Promedio de los Residuos Sólidos Municipales en México
Fuente: Cifras de la SEDESOL, citadas en el Programa de Medio Ambiente 1995-2000¹²⁰.

Por ejemplo, en el Distrito Federal en 1950, sólo un 5% de la basura no era biodegradable, mientras que para 1994, este porcentaje ascendía al 41 %. A la vez, aumentó la generación de RSM que pueden ser considerados peligrosos, como resultado del incremento de actividades propias de unidades médicas, laboratorios y veterinarias, así como cambios importantes en los patrones de consumo familiar. Entre dichos residuos, se pueden mencionar gasas, algodones, productos químicos, insecticidas, residuos de pintura, solventes, ácidos y álcalis, sales, aceites lubricantes, llantas y baterías usadas.

El sistema de recolección es una parte importante del manejo de los RSM y en

¹²⁷ <http://www.semarnap.gob.mx/naturaleza/estadistica-am/informe/inicio/index.htm>,

algunas ocasiones llega a representar hasta el 80 % de los costos totales que un municipio destina para resolver el problema. Aunque la recolección abarca un 70% del total de RSM, sólo un bajo porcentaje de este total, poco más del 17 %, se dispone en rellenos sanitarios, mientras que el 83 % restante en tiraderos a cielo abierto. El proceso de recolección se realiza con vehículos con capacidades que van de 9 a 24 yardas cúbicas, siendo los más comunes los cilíndricos de 16 yd³ con carga lateral y compactación hidráulica, estimándose una inversión por tonelada del orden de 3 dólares¹²⁶.

El 30 % que no se recolecta, se abandona en calles y lotes baldíos o se tira en basureros clandestinos a cielo abierto o en cauces de ríos y arroyos, provocando impactos adversos significativos en el ambiente y la salud pública. Existe un déficit de 25 millones de toneladas al año en la disposición sanitaria de RSM, y de 9 millones de toneladas al año con relación a su recolección. Si se proyectan estas cifras al año 2010, considerando una tasa de crecimiento anual del 3 %, resulta un déficit de 39 y 14 millones de toneladas anuales, respectivamente.

Para la atención del rezago en materia de aprovechamiento y disposición final de RSM, existen diferentes opciones tecnológicas, como son:

- Reciclaje de productos
- Fabricación de aglomerados y materiales para construcción
- Compostaje
- Incineración y generación de energía eléctrica
- Relleno sanitario

Actualmente están dadas las condiciones para la recuperación energética de los RSM, mediante esquemas de cogeneración, en los que la iniciativa privada puede participar activamente, desarrollando mecanismos de operación que hagan rentables dichas actividades en términos económicos y ambientales. Si tomamos como base de cálculo de inversiones y costos de operación, las propias de un relleno sanitario capaz de atender las necesidades de poblaciones de aproximadamente 350,000 habitantes que generan 300 ton/día, tendremos una inversión unitaria de 46 dólares/ton anual y un costo promedio de barrido de 10 dólares/ton, más 10 dólares de transporte y 12 de disposición final. Para efectos de proyección, se considera que el total del volumen de RSM generado se dispone por medio de rellenos sanitarios, como opción de referencia para otras alternativas¹²⁸.

¹²⁶ <http://www.semarnap.gob.mx/naturaleza/estadistica-am/informe/inicio/index.htm>,

Situación Actual y Proyección de las Necesidades de Manejo de Residuos Sólidos Municipales

Generación de RSM 1995 30 Millones TON/AÑO	Volumen 1995	Déficit 1995	Necesidades al año 2010
Disposición sanitaria	5	25	39
Recolección	21	9	14

Figura 5.9 Proyección de Necesidades de Manejo de Residuos Sólidos¹²⁹

Erogaciones en Manejo y Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales

Concepto	Déficit año 2010 millones de ton/año	Costo unitario de inversión \$ ton/año	Total inversión al año 2010 MDD	Operación anual MDD
Recolección y transporte	14	3	42	240
Relleno Sanitario	39	46	1,702	444
TOTAL	53	49	1,744	684

Figura 5.10 Erogaciones en Manejo y Disposición final de RSM (Dólares a precios constantes de 1994)¹²⁹

5.4.3 Reciclamiento de residuos sólidos urbanos en México

Con relación al reciclamiento de los residuos sólidos urbanos en México, se estima que se recuperan aproximadamente del 5 % al 6 % en peso del total de la basura, rescatando productos como papel, cartón, vidrio y metales. Se debe destacar que además de la práctica de la pepena urbana, la cual es manual, el Departamento del Distrito Federal instaló 3 unidades semiautomáticas con capacidad de 2000 ton/día cada una, las que están siendo operadas exitosamente por cooperativas de pepenadores, con rendimientos hasta del 12 % en peso, experiencia que puede reproducirse en las grandes ciudades del país.

La recuperación de materiales como papel, cartón, vidrio, metales y plásticos, en el año 2010 puede ser del orden de 12.5 millones de toneladas al año, mismos que significan un ingreso de cerca de 1,800 millones de dólares, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

¹²⁹ <http://www.aprepel.org.mx/> - <http://www.semarnap.gob.mx/naturaleza/estadistica-am/Informe/Inicio/Index.htm>

Situación Actual y Proyección del Reciclamiento de Residuos Sólidos Urbanos

RESIDUO	VOLUMEN GENERADO EN 1994 millones de toneladas	VOLUMEN RECICLADO millones de toneladas	DEFICIT 1994 millones de toneladas	NECESIDAD-DES AL AÑO 2010 millones de toneladas	COSTO UNITARIO POR TONELADA DOLARES*	COSTO DE OPERACION TOTAL** millones de dólares
Papel y cartón	4.16	0.10	4.06	6.33	50	316.5
Vidrio	1.73	0.06	1.67	2.60	200	520.0
Aluminio	0.47	0.03	0.44	0.69	800	552.0
Otros metales no ferrosos	0.15	0.01	0.14	0.21	1,100	231.0
Metales ferrosos	0.23	0.01	0.22	0.35	130	45.5
Plástico	1.29	0.01	1.28	2.01	100	201.0
Llantas*	0.22	0.01	0.21	0.34	—	—
Total	8.25	0.23	8.02	12.53	—	1,868.0

Figura 5.11 Situación Actual y Proyección del Reciclamiento de Residuos Sólidos Urbanos

Las llantas no tienen valor en el mercado.

Fuente: Dirección de proyectos de residuos sólidos para la preservación del medio ambiente. Subsecretaría de Desarrollo Urbano, SEDESOL, 1994. Dólares a precios constantes de 1994. Dirección Técnica de Desechos Sólidos. DDF 1996^{12*}.

Cuadro Resumen de Oportunidades de Inversión

RAMA Y ACTIVIDAD	UNIDAD	NECESIDADES AL AÑO 2010 O CAPACIDAD POTENCIAL cifras en millones de dólares	INVERSION ACUMULADA EN EL PERIODO 1995 A 2010 cifras en millones de dólares	INVERSION PROMEDIO ANUAL	COSTO PROMEDIO DE OPERACION ANUAL O SERVICIOS	EROGACIONES ANUALES PROMEDIO	PORCENTAJE CON RESPECTO AL PIB RESPECTO AL AÑO 2010
1. Tratamiento de aguas residuales							
Uso urbano	m ³ /s	317	6,847	456	999	1,455	0.284
Uso industrial	m ³ /s	94	2,447	163	447	610	0.12
2. Manejo de residuos							
Sólidos municipales	millones ton./año	39	1,744	116	748	864	0.17
Industriales peligrosos	millones ton./año	7	5,600	373	3,150	3,523	0.69
Hospitalarios	Miles ton./año	313	69	4	141	145	0.03
3. Consultoría Ambiental							
Estudios de	estudio	24,191	242	16		16	0.003

Impacto							
Ambiental							
Estudios de Riesgo	estudio	5,040	25	2	2	0.0003	
Ordenamiento Ecológico	proyecto	805	121	8	8	0.0016	
Auditoría Ambiental	estudio	10,077	222	15	15	0.003	
Estudios de Fortalecimiento Institucional y Descentralización	estudio	ND	28	2	2	0.0003	
Estudios Especiales	estudio	3,283	40	3	3	0.0005	
4. Remedación de suelos			100	7	7	0.0013	
5. Servicios analíticos	prueba	10,077	449	30	30	0.006	
6. Reciclamiento de R.S.U.	Miles ton/año	12,538			1,866	1,866	0.36
7. Energía renovable							
Eólica	MW	600	1,596	106	106	0.02	
Solar	MW	600	5,520	368	368	0.07	
Etanol	Mil litros/día	685	25	2	2	0.0003	
Ahorro de energía en el consumo	GWh	17,169	2,918	194	194	0.038	
Combustibles alternos		N/D	20	1	1	0.0002	
8. Control de la contaminación atmosférica	Miles ton/año	3063	1,079	79	79	0.014	
TOTAL			29,092	1,945	7,351	9,296	1.8

Figura 5.12 Cuadro resumen de oportunidades de inversión en el mercado ambiental en México 1995-2010

Cifras redondeadas en millones de dólares constantes de 1994.

Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental¹³⁰

¹³⁰ <http://www.semarnat.gob.mx/naturaleza/estadistica-sm/informe/inicio/ndgex.htm>.

6 Conclusiones

México se ha caracterizado por ser uno de los países en desarrollo "punta de lanza", un país que dentro de sus posibilidades intenta seguir la vanguardia de los países que tienen un mayor desarrollo.

En el campo del reciclado el sector o industria es casi virgen, y no sólo en el campo de los polímeros, sino en general. No hay una industria como tal que se encargue del reciclaje de papel, cartón, metales. Por otro lado existen ya empresas como Tetra Pack que reciclan su materia prima para reutilizarla en productos de oficina que no comercializan pero que son para uso interno, y otras que podían volver a utilizar aquellos productos que no alcanzaban los estándares de calidad fijados por la propia empresa y/o el mercado.

El proceso para el reciclaje y reutilización de residuos plásticos en México es casi inexistente, en buena medida tal vez por el manejo político que tiene la basura. Implicaría un reto establecer una industria como tal, se requiere sobretodo de una gran cantidad de capital y mucho compromiso, ya que como se comentaba al principio de esta tesis, se requiere de una inversión inicial muy grande así como del compromiso de la gente, lo cual también tiene que involucrar leyes y reglamentos que regulen el proceso de reciclaje y reutilización. Una empresa de reciclaje no se puede ver como un simple negocio, involucra al sector público y privado, así como el compromiso de ambos para llevarlo a cabo.

Si llegaran a conjuntarse los elementos para el reciclado de plásticos, ésta industria traería a largo plazo muchos beneficios, tales como empleos, menos contaminación, grandes beneficios económicos, así como un desarrollo en las zonas productoras de residuos.

Hoy, por fortuna la sociedad en su conjunto comienza a voltear hacia el reciclaje como una opción viable y llena de oportunidades de negocio, esto último por la serie de actividades que involucra la actividad del reciclaje.

En este sentido, a partir de este trabajo puede deducirse de manera más formal que como sector económico el sector de reciclaje de plásticos en México se mantiene como una opción firme para el crecimiento, a pesar de las dificultades que tengan que superarse para lograr su consolidación.

7 Bibliografía

Rennie, Caroline and MacLean Alair. 1989. *Salvaging the Future: Waste-Based Production*. Washington, D.C.: Institute for Local Self-Reliance.

Kieffer, William. "Chemistry a cultural approach", Harper & Row NY, 1971. p 293-295.

Hegberg, Bruce A. and Brenniman Gary R. 1992. *Mixed Plastics Recycling Technology*. New Jersey: Noyes Data Corporation.

Fouhy, Ken and Kim, Irene. December 1993. "Plastics Recycling's Diminishing Returns." *Chemical Engineering*.

Kastner, H. and Kaminsky, W. May 1995. "Recycle Plastics into Feedstocks." *Hydrocarbon Processing*. 74:109-12

The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *A fuel for the future, Energy from plastics waste* », 10 p.

The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *Le recyclage des matières plastiques, une activité économique dans toute sa complexité* », 1991,

The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *Plastics, a material of choice for electrical and electronic industry* », 10 p.

The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *Plastics, a material of choice in building and construction* »

The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), « *Weight reduction, fuel efficiency and plastics, driving forces for the car of tomorrow* »

Vermeer W., « L'environnement et l'emploi, tous deux gagnants », *INFO 11, Fost Plus*, octobre 1997, pp. 24-25.

Castillo, Berthier H.. "La sociedad de la Basura: Caciquismo en la ciudad de México", Cuadernos de Investigación Social, 9

Varios, "Mesa de Inversión – Manejo de Residuos Sólidos", Semarnap, 1997
Scheingart, Martha; d'Andrea, Luciano., "Servicios Urbanos: Gestión Local y Medio Ambiente", El Colegio de México, 1991

Young, R.J. and Lovell, P.A. "Introduction to polymers." *Chapman & Hall*, 1991

Barnés de Castro, Francisco. 2002. *Perspectivas y Oportunidades en el Sector Energético en México*. México, DF: Subsecretaría de Política Energética y

Desarrollo Tecnológico *in*

http://www.energia.gob.mx/secundario/index_publica.html

Varios, "Les priorités d'investissement des collectivités locales dans le domaine des déchets", Ademe Editions, 1997

Varios, "Equipements de tri et de conditionnement des matériaux recyclables", Ademe Eco-Emballages, 1996

Varios, "Recyclage des Plastiques: Photographie de la Filière Française", La Lettre Ademe, No 45, 1997

NOM-EM-118-ECOL-1997

Varios, "Análisis sectorial de residuos sólidos en la zona metropolitana del Valle de México", Organización Mundial de la Salud, 1998

Leroy, Jean Bernard., "Los desechos y sus tratamientos", Fondo de Cultura Económica, 1987

Aguilar Rivero, Margarita., "Basura: Manual para el Reciclaje Urbano", Trillas 1995

Miller, Andrew. January 3, 1994. "Back to Basics." *Chemistry and Industry.*

Campbell, I.M., "Introduction to the synthetic Polymers" Oxford Science Pub., 1994

Avendaño, Luis, "Iniciación a los plásticos" Centro Español de Plásticos, 1992

Challa, G., "Polymer Chemistry an introduction" Ellis Horwood, 1993

Ramos, M.A. & De María, M.R., "Ingeniería de los materiales plásticos" Diaz de Santos., 1988

Cowie, J.M.G., "Polymers: chemistry & physics of modern materials" Intertext Books, 1973

Muccio, Edward A., "Plastic Processing Technology" ASM International, 1994

Glender, Alberto. Lichtinger, Victor. "La diplomacia ambiental" SRE-Fondo de cultura económica, 1994.

Fuentes de información en la “Red Mundial de Computadoras”

<http://www.pemex.com.mx/eprohidro.html>

http://www.energia.gob.mx/secundario/index_publica.html

<http://sourcebook.plasticsresource.com>

<http://www.plastics.org>

<http://www.americanplasticscouncil.org>

<http://www.americanplasticscouncil.org/benefits/economic/economic.html>

The Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME),
«http://www.apme.org/topics/a_major_european_industry/industry.html»

http://www.plasticsresource.com/recycling/community_recycling_materials

<http://www.plasticsresource.com/recycling/>

<http://www.iaf.es/sectores/plastico/recicla.htm>

<http://www.ine.gob.mx/dgmrar/dsrsc/rm/reciclaie/plastico.htm>

<http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/mexico/eco.htm>

<http://www.semarnap.gob.mx/naturaleza/estadistica-am/informe/inicio/index.htm>

<http://www.aprepet.org.mx/>

<http://www.forum-pet.de/>

<http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1963/natta-lecture.html>

<http://www.plasticsdatasource.org/>

<http://www.arpet.org/>

<http://www.polyurethane.org/purrc/report1.html>

<http://www.plastic-car.com>

<http://www.aham.org>

<http://www.eia.org>

<http://www.epa.gov>

<http://www.epa.gov/jtr/docs/nevada.pdf>

<http://www.apme.org/>

<http://netcwork.it/omp/omptbf.htm>

http://w3.restena.lu/aneil/bulli3_97/pet.html

<http://www.agers.cfwb.be/pedag/recheduc/4097-98/techno/3-plastique/plastique4.html>

<http://www.dupont.com/enqqpolymers/french/campus.html>

http://www.basf.de/basf/html/rampe/home_e.htm

http://www.americanplasticscouncil.org/benefits/about_plastics/history.html

http://www.plasticsresource.com/recycling/recycling_rate_study/index.html

http://www.plasticsresource.com/recycling/recycling_backgrounder/durables_recycling.html

<http://www.economagic.com/>

<http://www.psrc.usm.edu/macrog/synth.htm>

<http://www.chem.rochester.edu/~chem234/lecture2.pdf>

<http://www.psrc.usm.edu/macrog/emulsion.htm>

<http://web.umn.edu/~wlf/Solution/>

<http://www.icmcb.u-bordeaux.fr/duquet/hoim-ed2.pdf>

<http://www.sma.df.qob.mx/sma/rgaasr/pet/06plasticos.htm>

<http://mailweb.udlap.mx/~aleph/alephzero4/reciclaie.html>

<http://www.plasticsindustry.org/outreach/recycling/2124.htm>

<http://www.socplas.org>

The Project Management Institute, «Project Management Body of Knowledge» in
<http://www.pmi.org/publictn/download/2000download.htm>, 2002