



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

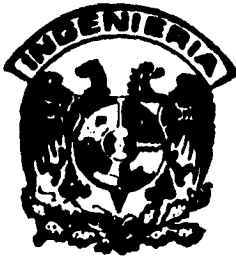
FACULTAD DE INGENIERIA

"ANALISIS DE LA PROBLEMATICA DEL RECICLADO  
DE PET Y PROPUESTAS ALTERNATIVAS  
DE SOLUCION"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA INDUSTRIAL  
P R E S E N T A N :  
OSCAR <sup>Abelardo</sup> ARCHUNDIA PEÑA  
ADOLFO CISNEROS MARIN

ASESOR DE TESIS: M.I. ARMANDO ORTIZ PRADO



MEXICO, D. F.

CD. UNIVERSITARIA, 1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## *AGRADECIMIENTOS*

*Queremos agradecer a nuestro asesor, M.I. Amando Ortiz Prado, a la Ing. Sara Cerrud y en general al personal del Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería por el apoyo incondicional que nos brindaron durante la elaboración de esta tesis.*

*De manera especial queremos dar las gracias a la Asociación para promover el reciclado de PET (APREPET) y su director comercial el Ing. Santiago García, por la ayuda prestada y sin la cual los objetivos de este trabajo no se hubieran cumplido.*

*También queremos agradecer a las siguientes empresas e instituciones:*

*REOMEX S.A. de C.V.*

*Celanese Mexicana S.A. de C.V.*

*Plásticos Reich, S.A. de C.V.*

*Asociación Mexicana de la Industria del Plástico, A.C.*

*Unidad de Computo Académico de la Facultad de Ingeniería.*

## DEDICATORIA

*Mamá.*

*Por que eres la persona más importante y sin ti esto no fuera posible.*

*Gracias por todo tu amor, fuerza y coraje para vivir, que siempre me acompañan.*

*Que dios te bendiga.*

*Hermanos Victor, Miguel y Yolanda.*

*Mi vida nunca estaria completa sin mis*

*hermanos, gracias por todo su apoyo.*

*Esto es de ustedes y siempre pueden contar conmigo.*

*Abuelita Maria, Tias Lucia y Micaela. Tios*

*Paco y Roberto. Primos Liliana, Paco,*

*Daniel y Dioselina.*

*Gracias por creer en mi y por todo su apoyo en los momentos dificiles.*

*Adolfo.*

*Gracias por la tolerancia y el tiempo, lo mejor fue tu amistad.*

*Amigos Hugo y José Juan.*

*Esto es por el tiempo que vivimos juntos.*

*Su amistad siempre es importante para mi.*

*Oscar. Noviembre 95*

**PARA ABOLFO Y ANTONIA**, por el apoyo siempre mostrado durante toda mi vida.

*A mi hermano Jesús*, por haber aprendido juntos de la vida.

*A ti Claudia*, por que te quiero.

*A mis amigos del volibol y de la prepa*, por que su amistad de tantos años es muy valiosa.

*A CELE*, por haberme dado la oportunidad de conocer gente muy valiosa y hacer amigos.

A los que de alguna manera están involucrados en la obtención de esta meta.

*A la UNAM*, con la cual viviré por siempre agradecido por haberme dado la oportunidad de formarme como una persona integral.

*A mi hermana Sonia*, por que en el fondo nos queremos mucho.

*A Luis y todos los amigos de bohemia*, por que la calle también enseña.

*A Oscar*, mi compañero, por la paciencia que me tuvo, además de las comidas en su casa.

A la Facultad y los compañeros que compartieron conmigo los momentos felices y amargos que el estudio de la carrera nos dio.

Gracias a Dios y a la vida por que ambos existen.

*Adolfo, Noviembre de 1995.*

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y  
PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

**ÍNDICE GENERAL**

<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo I. Análisis de la problemática del reciclado de plásticos.....</b>	<b>7</b>
<i>1.1 Importancia del reciclado de plásticos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Consideraciones económicas del reciclado de plásticos.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3 Tipos de reciclado.....</i>	<i>13</i>
<i>1.4 ¿ Por que reciclar PET ?.....</i>	<i>15</i>
<i>1.5 Importancia de la legislación a nivel nacional e internacional         del reciclado de plásticos.....</i>	<i>21</i>
<i>1.5.1 Normatividad en Norteamérica.....</i>	<i>22</i>
<i>1.5.2 Estado de la legislación en México.....</i>	<i>28</i>
<b>Capítulo II. Definición y usos de la resina PET.....</b>	<b>31</b>
<i>2.1 Definición y características de la resina PET.....</i>	<i>33</i>
<i>2.2 Proceso de fabricación de la resina PET.....</i>	<i>35</i>
<i>2.3 Proceso de fabricación de los principales productos hechos a         base de PET virgen.....</i>	<i>37</i>
<i>2.3.1 Usos de la resina PET virgen.....</i>	<i>37</i>
<i>2.3.2 Proceso de fabricación de botellas de PET virgen.....</i>	<i>41</i>
<i>2.3.3 Periodo de uso de las botellas de PET.....</i>	<i>44</i>
<i>2.4 Volumen de la resina virgen que se consume actualmente y         perspectiva de mercado a nivel nacional y mundial.....</i>	<i>45</i>
<i>2.4.1 Situación mundial.....</i>	<i>45</i>
<i>2.4.2 Situación nacional.....</i>	<i>49</i>

<b>Capítulo III: Reciclado de la resina PET post-consumo.</b> .....	<b>53</b>
<i>3.1 Aplicaciones de la resina PET reciclada.</i> .....	<b>55</b>
<i>3.2 Procesos comunes en el reciclado de PET.</i> .....	<b>57</b>
3.2.1 <i>Reciclado mecánico.</i> .....	<b>57</b>
3.2.2. <i>Reciclado químico (cerrando el ciclo de reciclado).</i> .....	<b>62</b>
3.2.3 <i>Problemas comunes en el reciclado de PET.</i> .....	<b>65</b>
3.2.4 <i>Proceso Multicapas.</i> .....	<b>69</b>
<i>3.3 Propiedades de las hojuelas de PET reciclado.</i> .....	<b>71</b>
<i>3.4 Tendencias en el reciclado de PET.</i> .....	<b>75</b>
<b>Capítulo IV. Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo.</b> .....	<b>83</b>
<i>4.1 Aplicaciones de PETPC susceptibles de reciclarse comercialmente .</i> .....	<b>85</b>
<i>4.2 Ciclo de vida de los envases.</i> .....	<b>86</b>
<i>4.3 Fuentes de aprovisionamiento de PETPC.</i> .....	<b>89</b>
<i>4.4 Tipos de mercado para el PETPC.</i> .....	<b>91</b>
<i>4.5 Programas de aprovisionamiento de reciclables en general y PET en particular.</i> .....	<b>94</b>
4.5.1 <i>A nivel mundial.</i> .....	<b>94</b>
4.5.2 <i>A nivel nacional.</i> .....	<b>96</b>
<i>4.6 Problemas en el aprovisionamiento de PET para ser reciclado en el Valle de México.</i> .....	<b>98</b>
<i>4.7 Propuestas alternativas.</i> .....	<b>100</b>
4.7.1 <i>Panorama mundial.</i> .....	<b>100</b>
4.7.2 <i>Panorama nacional.</i> .....	<b>103</b>



<b>Capítulo V. Estudio de mercado y análisis de costos.</b> .....	<b>107</b>
<b>5.1 Definición del producto.</b> .....	<b>109</b>
<b>5.2 Análisis del mercado interno.</b> .....	<b>110</b>
5.2.1 Análisis de la demanda.....	110
5.2.2 Análisis de la oferta.....	113
5.2.3 Análisis de los precios.....	116
<b>5.3 Análisis del mercado externo.</b> .....	<b>118</b>
5.3.1 Demanda en los EU.....	119
5.3.2 Oferta en los EU.....	123
5.3.3 Precios a nivel internacional.....	126
<b>5.4 Análisis de costos asociados al proceso de producción de PETPC</b> .....	<b>128</b>
<b>Capítulo VI. Perfil de una planta recicladora de PETPC.</b> .....	<b>139</b>
<b>6.1 Tipo de empresa.</b> .....	<b>141</b>
6.1.1 Factores que determinan el tipo de empresa.....	142
6.1.2 Selección del tipo de empresa.....	143
6.1.3 Estrategias para el suministro de materia prima.....	147
<b>6.2 Tamaño óptimo de la planta.</b> .....	<b>149</b>
<b>6.3 Localización óptima de la planta.</b> .....	<b>158</b>
<b>Conclusiones.</b> .....	<b>163</b>
<b>Bibliografía.</b> .....	<b>167</b>
<b>Apéndice I.</b> .....	<b>171</b>
<b>Índice de abreviaturas.</b> .....	<b>177</b>

## Introducción

La importancia que ha cobrado la protección al medio ambiente en la actualidad es tal que ninguna actividad que se realice escapa de ser juzgada por el impacto ambiental que causa, por ello se proponen soluciones como el reciclado de los desechos sólidos que son alternativas viables en la solución de los problemas que estos generan.

El uso de los plásticos va a continuar ya que ofrecen más beneficios a la industria y a la sociedad que otros materiales, es por ello que analizar la problemática de reciclar PET, principal material plástico usado en envases de bebidas y alimentos es importante para ayudar a resolver el problema de los enormes volúmenes que se generan y el impacto ambiental que se causa al consumir productos envasados con este y otros materiales.

En países como México el uso de este tipo de materiales se hizo cotidiano debido a los hábitos de consumo importados e impuestos por las grandes empresas transnacionales, esto se explica por la globalización de la economía y el surgimiento de mercados comunes, en los que los productos que ofrezcan las mayores ventajas económicas prevalecerán sobre productos locales de menor calidad.

En el caso de México no basta con importar modelos a seguir de otros países, es necesario un estudio a fondo de la problemática interna para proponer las soluciones óptimas. En lo que se refiere a la problemática del reciclado de PET, el presente trabajo trata de cubrir esta carencia ya que este material se seguirá usando cada vez más por todas las ventajas que ofrece.

El presente trabajo está estructurado en seis capítulos, en los primeros cinco se estudian las razones por las que el PET se seguirá usando, así como todas las características que hacen de esta resina plástica la más rentable a nivel mundial al ser reciclada. En el último capítulo se expone un perfil del tipo de empresa recicladora que en las actuales condiciones del mercado nacional tiene más posibilidades de éxito. Los objetivos de cada uno de los capítulos se describen a continuación.

En el capítulo I se determina la importancia del reciclado de plásticos y el papel que el reciclado de PET desempeña en este ámbito, incluyendo una descripción de la legislación existente en Norteamérica en este sentido.

El capítulo II aborda las razones del porque la resina PET esta desplazando a los materiales de envase tradicionales como el vidrio e incluso otras resinas plásticas como el PVC. En el capítulo III se da a conocer el potencial comercial de los desechos de PET provenientes de envases y desechos industriales (PETPC).

Para el capítulo IV se analizó la problemática para reciclar el PETPC a través de las fuentes de aprovisionamiento a nivel mundial y nacional y se plantearon alternativas de solución para el valle de México. En el capítulo V se analiza la oferta, la demanda, los precios y los costos de producción de los diferentes tipos de PETPC que se producen y se comparan con la situación de la resina virgen.

En base a los cinco capítulos anteriores se obtiene como conclusión el perfil del tipo de empresa recicladora que según el punto de vista de los autores tendría mayores posibilidades de éxito, haciendo hincapié en que se trata de un estudio preliminar y proponiendo realizar el anteproyecto de la empresa sugerida en futuros trabajos.

Es importante resaltar que las fuentes de información utilizadas fueron principalmente, entrevistas con directores generales de las empresas recicladoras del valle de México, con las personas encargadas del departamento de PET virgen del principal productor de este material en México: Celanese Mexicana, además de la valiosa colaboración del Ing. Santiago García, director comercial de la compañía Continental PET Technologies de México quien además dirige la Asociación para Promover el Reciclado de PET en México (APREPET).

Además de todas las fuentes de información secundaria que existen sobre el tema (revistas especializadas, boletines informativos de asociaciones, censos económicos e industriales, tesis anteriores, artículos de periódicos, etc.) que teníamos a nuestro alcance.

**FALTA PAGINA**

**No. 5 a la 8**

# **ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

## **Capítulo I. Análisis de la problemática del reciclado de plásticos**

### **Objetivo:**

Determinar la importancia del reciclado de plásticos y el papel que el reciclado de PET desempeña en este ámbito.



### ***1.1 Importancia del reciclado de plásticos.***

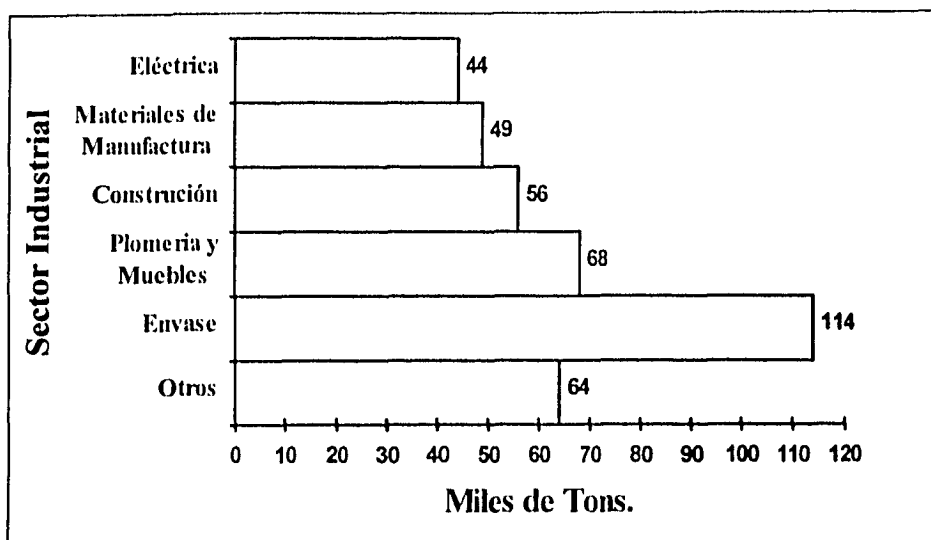
Debido al importante desarrollo de los plásticos en la actualidad, desplazando incluso a los materiales tradicionales como el acero, debe tomarse una actitud responsable ante los millones de toneladas de desechos plásticos que se producen; esto último se explica, debido al hecho de que los plásticos ocupan una importante posición en la forma de vida de las personas en los países industrializados. Se usan en todo tipo de industrias, esto es posible gracias a los bajos costos con los que se producen, a la facilidad que tienen de adaptarse a los diferentes usos que se les da y sobre todo al constante desarrollo que han tenido en los últimos años.

Por los cambios que traen consigo el empleo de estos materiales debemos tomar conciencia del volumen de desechos sólidos plásticos que generamos y como afectan al medio ambiente, ya que los plásticos serán parte de nuestras vidas en las próximas décadas querámoslo o no.

En la gráfica 1.1.1 se muestra como se ha comportado el consumo de los plásticos a nivel mundial en el cual la industria del envasado y la construcción fueron los más altos, alcanzando 114 y 56 mil de toneladas respectivamente en el año de 1990; y según las proyecciones, para la próxima década este índice crecerá.

Debido a que el área de envasado es la de mayor consumo de plásticos, el reciclado de los desechos que esto provoca cobra mayor importancia por la relativa facilidad y beneficio económico que esto representa..

Análisis de la problemática del reciclado de plásticos



Gráfica 1.1.1 Uso de plásticos según el sector industrial.

Fuente: Centre for Economic Education, Albert Park VIC Australia, 1992.

Un dato poco conocido por la gente que no forma parte de la sabiduría popular, es que existe una correlación estadística negativa entre la cantidad de materiales de empaque y la de los desechos de alimentos que ingresan al flujo diario de RSM (Residuos Sólidos Municipales). Un análisis de los RSM de diversas partes del mundo indica que en la medida que aumenta la cantidad de materiales de envase y embalaje, disminuye la cantidad de residuos de alimentos en la basura.<sup>1</sup> Dicho en cifras, los promedios mundiales encontrados señalan que un incremento de 1 % en la cantidad de envases plásticos en los RSM se traduce en una disminución de 1.66 % en la cantidad de desechos de alimentos; mientras que los coeficientes de reducción para los otros materiales se muestra en la tabla 1.1.1.

<sup>1</sup> Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes, INE SEDESOL. 1993.

#### Consideraciones económicas del reciclado de plásticos

Tipo de envases	Validez	Coefficiente de reducción
Papel y Cartón	Mundial	-0.93
Vidrio	Mundial	-0.88
Metal	Mundial	-1.89
Plástico	EUA	-1.66
Papel	EUA	-1.41

Tabla 1.1.1 Reducción relativa de desechos de alimentos debida a envases.

Fuente: Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes, INE SEDESOL 1993.

El uso de empaques plásticos se ha disparado gracias a industrias como la alimentaria que encuentran ventajas con respecto a otros materiales como: bajo costo, higiene, seguridad, resistencia, fácil manejo, entre otras; por lo que no se vislumbra una reducción en su producción. ¿Que hacer con las enormes montañas de desechos plásticos que esto genera?; es ahí donde el reciclado cobra una importancia relevante, además de que reciclar implica disminuir el uso de combustibles fósiles y una buena oportunidad de negocios para quienes lo hagan eficientemente; esto último es algo que en el caso del reciclado de PET (Polietilenterestilato) se demostrará a lo largo de este trabajo.

#### *1.2 Consideraciones económicas del reciclado de plásticos.*

En el análisis de reciclado de plásticos muchos son los factores tanto a favor como en contra, pero sin duda los de índole económicos siempre serán la base para la toma de decisiones. Se podrá decir mucho acerca de los beneficios a la ecología y a la sociedad, pero si no hay un estímulo económico que haga a los involucrados en el reciclado de plásticos fijar la atención en este sentido muy poco se logrará.

Es por eso que vemos como se dedica mucha atención al reciclado de PET en países como los EU (Estados Unidos) y poca o nula a otro tipo de materiales. Para poder comprender los beneficios económicos del reciclado de plásticos, tenemos que conocer los siguientes factores básicos:



#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

- 1) Costos directos e Ingresos netos, éstos a su vez influidos con la tecnología empleada así como la situación económica del país.
- 2) Limitaciones o reservas, tanto técnicas como legales o institucionales.

De acuerdo con la experiencia en costos directos e ingresos relacionados con la tecnología existente en países desarrollados como EU, Gran Bretaña y Alemania, las grandes empresas como Goodyear y Eastman Chemicals han encontrado que el reciclado de algunos tipos de plásticos dan beneficios económicos altos.

Una de las conclusiones que se ha podido obtener de la experiencia en los EU, es que el reciclado de plástico no depende de cuestiones tecnológicas sino de condiciones institucionales favorables y de la situación económica del país. Dando por resultado que el mercado de recuperación de plásticos se vuelve cada vez más selectivo de acuerdo con los beneficios que se obtienen con las diferentes resinas.

En el análisis del reciclado de plásticos mucho influyen los costos de vertido de los RSM que dependen de factores como el tamaño de la población, distancia al vertedero, composición de los residuos sólidos, tamaño de operación de vertido, etc., motivo por el cual éstos varían mucho de una región a otra inclusive en el mismo país.

Por ejemplo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se estimó que en 1993 el costo actual de manejo y disposición de los RS (Residuos Sólidos) es de aproximadamente \$ 50 USD (dólares americanos)/ton de los cuales cerca de \$ 6 USD/ton corresponden a la disposición final en el relleno sanitario ó vertido y el resto a recolección y transferencia. En el caso de EU, en Filadelfia el costo paso de \$ 8.75 USD/ton en mayo de 1985 a \$ 17 USD/ton en enero de 1987, en algunas partes de Long Island, NY; los costos de disposición se incrementaron de \$ 5 USD/ton en 1984 hasta \$ 150 USD/ton para finales de 1987.

### ***1.3 Tipos de reciclado***

En general se pueden definir dos tipos de reciclado que son:

**Reciclado primario.** Lo definimos como el aprovechamiento de los residuos en la misma línea de producción y con la misma aplicación a la que estaba inicialmente destinado el material. Se aplica generalmente a residuos industriales, en el cual el material prácticamente no sufre contaminación, en el caso de México se encontró que es la única forma en que se recicla, la tecnología empleada es mínima y casi no existen limitaciones legales para su manejo. La industria maneja volúmenes bajos comparados con países en donde el reciclado es toda una realidad. Únicamente se limitan a granular y en algunos casos a pelletizar el material.

**Reciclado secundario.** Lo definimos a partir del material post-consumo, es decir materiales que llegan al flujo de residuos sólidos y son recuperados para su reciclaje. En el caso del reciclado de botellas de PET, en el cual se conocen los beneficios, los ejemplos son tales que compañías como Wellman Inc. la más importante en EU en este sentido recicló más de 100 millones de botellas en 1991, convirtiéndolas en fibras de poliéster para la elaboración de alfombras, trajes y relleno de chamarras.

El reciclado de plásticos se fundamenta en dos suposiciones básicas:

- a) Los desperdicios plásticos se pueden obtener a bajo o ningún costo.
- b) Los productos fabricados pueden venderse a precios competitivos con los de productos similares fabricados con otros materiales.

Por lo que las perspectivas para este tipo de materiales son alentadoras y su uso se esta extendiendo en todo el mundo.

De la experiencia internacional puede deducirse que:

- 1) El reciclado de residuos plásticos relativamente limpios, mediante procesos secundarios, tiene unos costos netos por debajo de los costes de vertido y en muchos casos como el del PET pueden obtenerse unos sensibles beneficios.

#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

- 2) El reciclado de desperdicios municipales, en los que los plásticos se encuentran en pequeña proporción, es más caro que el vertido. Sin embargo, en este caso deben tenerse en cuenta que en algunas zonas urbanas puede ser viable y económico.
- 3) Los plásticos que puedan separarse como en el caso de la botellas de bebidas carbonatadas, de otros residuos urbanos, se reciclarán de forma más rentable por sí solos que formando parte de los residuos urbanos.

Mientras que los datos existentes indican que el reciclado de plásticos es en general una alternativa económica frente al vertido, la tecnología disponible está abriendo los mercados potenciales para estos productos, las limitaciones se encuentran en otras áreas como los aspectos legales que más adelante se analizarán.

No hay que olvidar el beneficio ecológico que representa el reciclado de los residuos sólidos municipales, frente al problema de la saturación de los rellenos sanitarios. Esto resulta una gran motivación para los gobiernos e industrias, dando por resultado, como en EU, que las tasas de recuperación de los residuos aumente, haciendo más viable el reciclado de los mismos.

Los fabricantes pueden jugar un papel importante desde el diseño, ya que algunos polímeros y productos son más asequibles al reciclado que otros. Los consumidores podrían favorecer el reciclado de plásticos mediante su separación del resto de las basuras para su reciclado y adquiriendo productos fabricados con materiales reciclados. El sector público interviene estableciendo la reglamentación necesaria para hacer posible el reciclado frente al problema que causa el vertido de los RSM.

La decisión de reciclar o verter debe considerar las diferentes formas de compensar el riesgo que corren las empresas que deciden participar en la industria del reciclado, por ejemplo a los industriales se les puede compensar vía reducción de impuestos, estableciendo premios nacionales, adecuados canales de distribución y el reconocimiento de los consumidores a sus productos, a su vez los consumidores pueden ser recompensados con productos más baratos y con ciudades más limpias, a la vez que se aumenta el empleo por el surgimiento de esta industria.

#### **1.4 ¿Por que reciclar PET?**

Hoy en día, el PET representa la forma más común de envasar todo tipo de bebidas como refrescos, aguas purificadas y minerales, jugos e incluso cerveza así como productos alimenticios diversos como la salsa catsup.

Particularmente, el reciclado secundario ayuda a resolver el problema de la contaminación por RS y además da por resultado la fabricación de productos más baratos. Por ejemplo, cuando se reciclan las botellas desechables de PET se obtienen productos finales como fibras para alfombras, ropa, rellenos de chamarras, etc. (ver capítulo 3).

En 1990 la producción mundial de PET usado en botellas y envases de todo tipo fue de 1720 miles de toneladas y en EU 2 1/2 millones de botellas de plástico son desechadas diariamente; el final común de estos desechos son los rellenos sanitarios; ¿Como influye esto en el medio ambiente?

La Agencia de Protección Ambiental en EU reconoce 5 formas de tratar los RSM<sup>1</sup>:

- 1) La primera de ellas es la reducción de las fuentes; el mejor camino para reducir los desechos plásticos es no crearlos, pero como sabemos los plásticos forman parte de la forma de vida en las zonas urbanas debido a las ventajas que representan.
  
- 2) Otra posibilidad es dar una aplicación diferente a los contenedores; debido a las características de bajo peso y resistencia que tienen, pueden ser usados para almacenar otros productos, pero esto último sólo se hace en forma limitada.

---

<sup>1</sup>Fuentes: Eastman Kodak Co. 1992, NAPCOR , 1991.

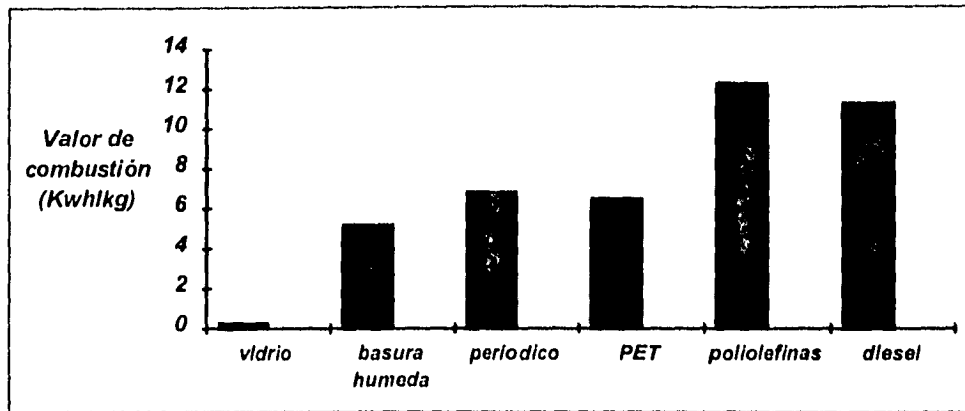
#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

- 3) El uso de los rellenos sanitarios es la más común de estas formas pero la menos eficaz en cuanto al impacto ecológico que este causa debido a la contaminación de la tierra y los mantos acuíferos (aunque, cabe mencionar que según Eastman Kodak Co. el PET es un material relativamente inerte, resistente a la descomposición, y que no contiene materiales nocivos que podrían llegar a los mantos acuíferos subterráneos). Es inevitable que algo del PET desechado acabe en rellenos sanitarios, al menos hasta que se incremente la conciencia pública y la capacidad de reciclado. Entre tanto, la naturaleza del PET de ser inerte y de poder ser comprimido, lo hace más deseable para los rellenos sanitarios que otros materiales.
- 4) La incineración representa un 10% en las formas de tratamiento de residuos sólidos en EU, en Europa ocupa un 30% aunque en países como Suiza es del orden del 80%. De los 333,000 tons. (740 millones de lb) de botellas de PET producidas en EU anualmente, aproximadamente el 8% se destinan a los incineradores municipales. En México el uso de incineradores para obtener energía a partir de los RSM es casi nulo, esto último sólo se realiza a nivel de fábrica y de una manera muy reducida; este es un punto que debe desarrollarse en el país ya que como veremos a continuación la incineración realizada de manera efectiva puede proveer enormes beneficios en la recuperación de energía.

En los costos de incineración con recuperación de energía, se debe tomar en cuenta en el caso de los plásticos el alto poder calorífico que tienen, por ejemplo el Polietileno 82,236 KJ/kg (36,850 BTU/Kg), comparado con el Diesel 86,543 KJ/kg (38,780 BTU/Kg ó 17451 BTUs / lb), y el caso del PET que tiene un poder calorífico similar al carbón.

En el caso del PET, si se hace una combustión completa del mismo, lo único que se produce es H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> además de una escoria relativamente inerte, insoluble y no tóxica; en caso contrario, una mala combustión produce CO y acetaldehído.

A continuación se muestra el valor energético del PET comparado con otros materiales de desecho.



Gráfica 1.4.1 Valor de combustión en la incineración de algunos materiales.  
Fuente: Eastman Kodak Co. 1992.

Además, en el proceso de incineración se reducen hasta un 10% del volumen inicial de RS que ingresan a la planta. Sin embargo, para realizar este tipo de proyectos se debe tener un largo proceso de desarrollo y luchar contra grupos activos de ecologistas que se oponen radicalmente a su construcción debido a la falta de información con que cuentan al respecto, además de ser proyectos de alta inversión, motivo por el cual se considera primero la opción del reciclaje.

Actualmente las nuevas plantas están demostrando tener un alto nivel de confiabilidad y desempeño ambiental, ejemplo de ello se tiene en EU, donde la empresa Ogden es líder en este sentido con 11 plantas en operación y 8 en construcción. El espacio para rellenos sanitarios es caro y cada día hay menos, por lo que la investigación sobre usos benéficos de las cenizas aumentará en el futuro cercano.

De la gráfica anterior, se concluye que la incineración de este material puede ser una forma rentable de tratarlo, sólo que esta misma debe llevarse de una manera efectiva o de lo contrario se estaría poniendo en riesgo al medio ambiente.

Después de ver las 4 formas anteriores de tratamiento de RSM se verá por que el reciclado es en todos sentidos superior.

#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

5) Reciclado mecánico. Sólo es necesaria poca energía en KJ para reemplazar los desechos de poliéster por nuevos productos, esto combinado con la relativa facilidad de coleccionar grandes volúmenes de botellas, la ventaja del precio comparado con la resina virgen y la facilidad de manejo, dan como resultado que el PET sea el material con más alto índice de reciclado de los materiales de envase.

Otra razón para reciclar PET es que recientemente se autorizó por parte de la FDA (Foods and Drugs Administration) el uso de PET reciclado químicamente en el envase de productos alimenticios, cerrando de esta forma el ciclo de reciclado (ver capítulo 3).

Aunado a lo anterior, para el reciclado hay una justificación de mercado, la demanda comercial de PET reciclado en EU (principal mercado para los productores mexicanos según varias industrias dedicadas a este ramo) es de 246 millones de Kgs. (543 millones de lbs.) y de esta demanda sólo se satisface la mitad.

En 1989 se realizó un estudio por parte de una firma muy importante en EU para comparar el impacto ambiental y económico de los materiales de envase más usuales.

*Estudio Franklin.*- Se trata de una evaluación realizada por Franklin Associates, la firma más importante en EU en cuanto a este tipo de estudios; donde se demuestra claramente como los envases de PET son los más eficientes desde el punto de vista de ahorro de energía, contaminación del aire y mantos acuíferos, peso y volumen.

El estudio se hizo tomando en cuenta desde la extracción de la materia prima hasta el depósito final o reciclado de los principales materiales de envasado: PET, Aluminio y Vidrio

¿ Por que reciclar PET ?

Un esquema de la metodología que se utilizó en el estudio es la siguiente:

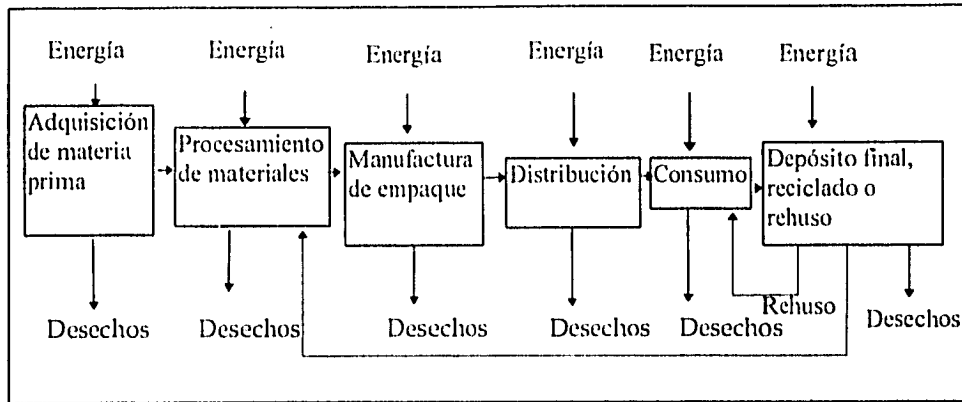
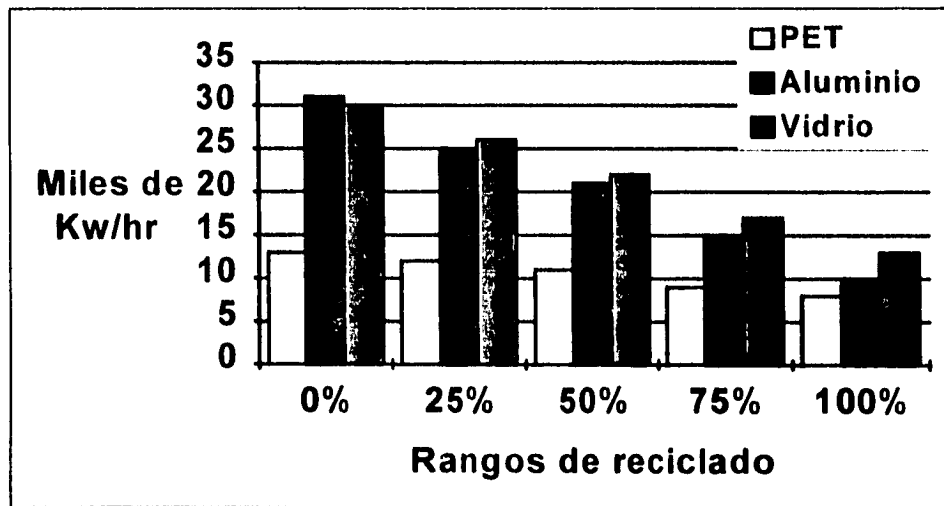


Figura 1.4.1 Diagrama de flujo origen-destino de los envases en general. Fuente: NAPCOR, 1989.

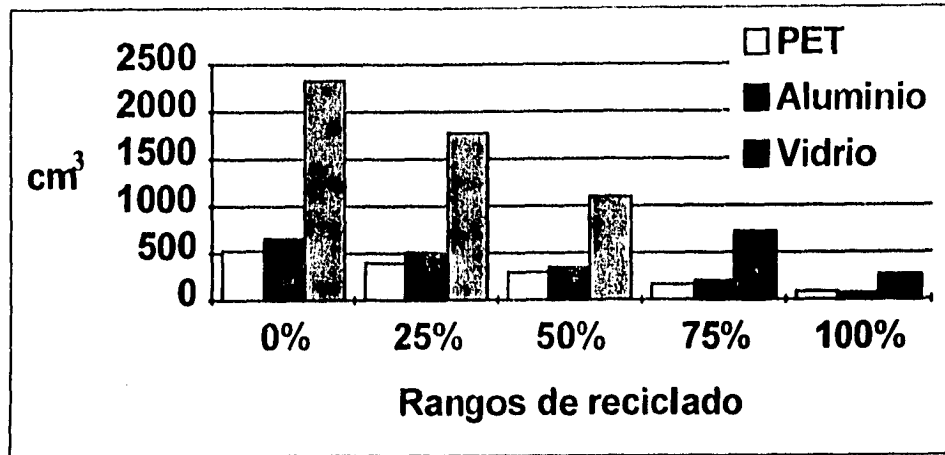
En la siguiente serie de gráficas se demuestran las ventajas del PET comparado con otros materiales de envase:



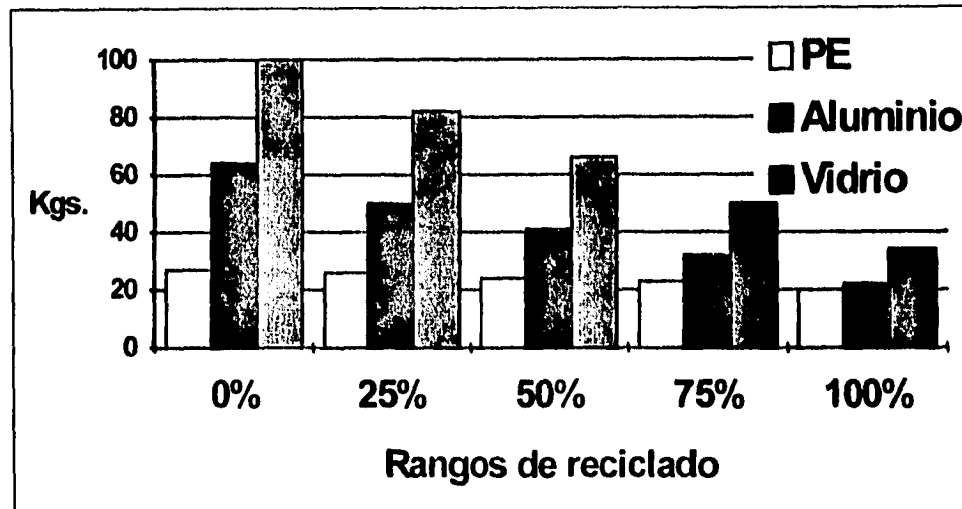
Gráfica 1.4.2 Energía consumida en la producción de 3785 lts. (1000 gal) de bebidas carbonatadas.



Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

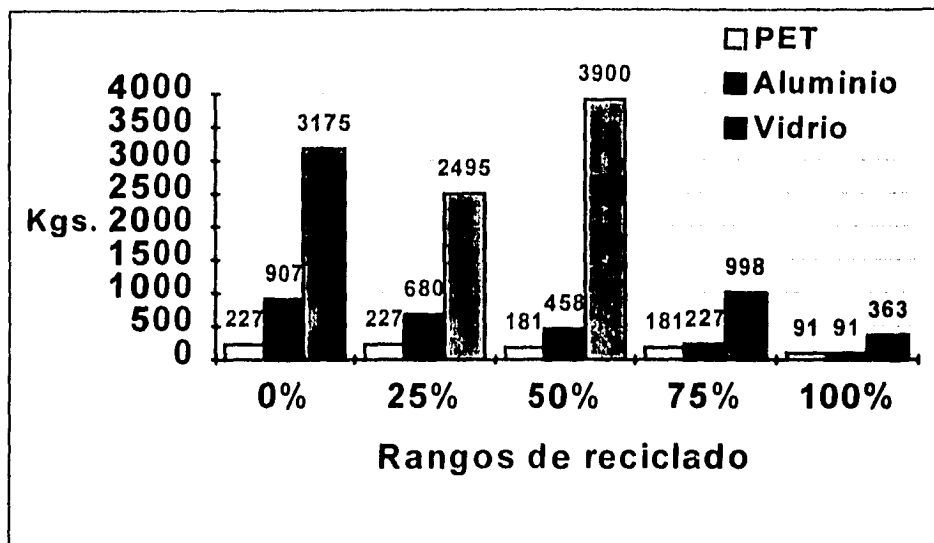


Gráfica 1.4.3 Volumen de desechos sólidos generados en la producción de 3785 lts (1000 gal) de bebidas carbonatadas.



Gráfica 1.4.4 Emisiones atmosféricas en la producción de 3785 lts. (1000 gal.) de bebidas carbonatadas.

¿ Por que reciclar PET ?



Gráfica 1.4.5 Peso de los desechos sólidos en los envases para la producción de 3785 lts. (1000 gal.) de bebidas carbonatadas.

Fuente: Franklin Associates, 1989.

**1.5 Importancia de la legislación a nivel nacional e internacional del reciclado de plásticos.**

Actualmente, la postura de los gobiernos de los países en vías de desarrollo es que el problema de los desechos sólidos no es tan importante como otros de carácter económico, debido a esto, existe poca legislación al respecto. Sin embargo, es ahora cuando se tienen que analizar y plantear alternativas de acción que resulten en una mejoría para situaciones críticas como en el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

#### **Análisis de la problemática del reciclado de plásticos**

Debido a que existen los medios técnicos para solucionar el problema de los RS, el impulso de una voluntad política firme y la participación de toda la sociedad, se tendrá como resultado al reciclado de plásticos como parte de la solución, no sólo a problemas ambientales, sino también ayudará a solucionar los problemas económicos en los países en vías de desarrollo.

En la sociedad se lograría la integración de sectores altamente marginados como pepenadores, personal sindicalizado de los camiones de recolección y demás personas involucradas en el manejo de RS. Para esto no basta con importar modelos de los países desarrollados, se hace indispensable que en cada región se analice la problemática local. En el caso de México, al entrar en un mercado de libre comercio con EU y Canadá en donde la protección al medio ambiente se tiene como uno de los puntos principales, la normatividad en cuanto al reciclado cobra una importancia relevante si se quieren aprovechar eficazmente nuestros recursos. Debido a lo anterior, se estudiará la legislación en estos dos países ya que además marcan la pauta a seguir a nivel mundial en cuanto a este tema.

#### *1.5.1 Normatividad en Norteamérica*

##### **La situación en EUA.**

La legislación estadounidense resulta difícil de concretizar debido a que cada estado establece su propio marco normativo sobre protección al ambiente, en general se nota una tendencia a incrementar los niveles de reciclaje como un medio para disminuir los volúmenes de desechos sólidos, a establecer depósitos obligatorios en envases de bebidas para promover su reutilización y disminuir la basura callejera, a reglamentar el uso obligatorio de la codificación de los envases de plástico rígido, a promover el uso de plásticos degradables e incluso a prohibir algunos tipos de envases. Adicionalmente, diversos estados han considerado cuestiones de reducción de origen y metas de reducción de los volúmenes de basura.

#### Importancia de la legislación a nivel nacional e internacional del reciclado de plásticos

Hasta 1993 un total de 33 estados y el distrito de Columbia cuentan con leyes detalladas de reciclaje; en 21 estados más se requiere separar los reciclables desde el origen. En 8 estados se necesita que los fabricantes usen material reciclado en sus empaques, destacando a California, Wisconsin y Oregon.

La tendencia de la legislación es llegar a la fuente, obligando a los fabricantes a emplear un porcentaje mínimo de material reciclado, es decir creando la demanda. Adicionalmente, los estados están enfatizando la importancia del reciclaje en sus políticas de adquisición de bienes, ofreciendo precios preferenciales y fijando metas de compra de productos reciclados. Por ejemplo en 1991 el reciclaje de plásticos logró procesar más de 250 mil ton de las cuales correspondió un 30% de botellas de PET. Mas de 4,400 comunidades tenían ya programas de reciclaje de plásticos.

Una sola empresa, Wellman Inc. recicló más de 100 millones de botellas de PET convirtiéndolas en fibras para la elaboración de alfombras, trajes y relleno de chamarras de invierno..

Existe una propuesta legal de volver obligatorio a nivel nacional lo siguiente: que los fabricantes controlen el desecho de sus envases mediante el establecimiento de un depósito de 10 ¢ de USD sobre botellas o latas de hasta un galón de capacidad, sin importar el material de que este hecho. Lo anterior podría deberse a la equivocada noción de creer que los envases desechables son los principales culpables de la crítica situación de los desechos sólidos en EU, sin embargo esto está a discusión en el Congreso Federal. Hasta 1991 solo 9 estados tenían legislación de depósito obligatorio, y no se ha podido demostrar claramente que ésta sea la solución.

Otra forma de impulsar el reciclado, es el Sistema de Codificación para Botellas de Plástico que fue propuesto en 1988 por el Instituto de las Botellas Plásticas de la Sociedad de la Industria de los Plásticos (SPI). Su propósito es auxiliar a empresas recicladoras en la selección de los plásticos, de acuerdo al tipo de resina con que está fabricada. Actualmente se aplica no sólo en EU (hasta 1993, 22 estados tienen legislación obligatoria para el uso del código) sino en el mundo entero.

#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

Debido a las condiciones actuales de los mercados internacionales se hace indispensable la estandarización del código para todos los países. La base del código es un símbolo en forma de triángulo, integrado por tres flechas, con un número en el centro para representar el material a partir del cual está hecha la botella. El código se muestra a continuación:








Material	Código
PET (Poliéterterefalato)	
HDPE (Poliétileno de alta densidad)	
PVC (Policloruro de vinilo)	
LDPE (Poliétileno de baja densidad)	
PP (Polipropileno)	
PS (poliestireno)	
Otros	

Tabla 1.5.1 Sistema de codificación para botellas de plástico.

Fuente: Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes, INE SEDESOL 1993.

En el caso de California, para 1991 se aprobó una ley que requiere que los recipientes de plástico rígido, entre 8 onzas y 5 galones de capacidad sean:

Importancia de la legislación a nivel nacional e internacional del reciclado de plásticos

- a) Reciclados en un 10% para 1993, 25% para 1995 (35% para 1993 y 55% para 1995 en el caso de PET).
- b) Contengan 10% de plástico reciclado para 1993 y 25% para 1995.
- c) Sean reusables o rellenables.
- d) Reduzcan 10% el peso o volumen que tenían en 1990 y modifiquen la misma proporción en 1995.

Estados	Metas	% Reciclado	Millones de ton recicladas
California	50% para 2000	11% en 1990	5.486
Georgia	25% para 1996	---	---
Illinois	25% para 2001	5% en 89-90	0.717
Indiana	50% para 2001	---	---
Maine	50% para 1994	17% en 1988	0.277
Missouri	40% para 1998	7% en 1987	0.347
New York	50% para 1997	15% en 1989	3.0
Washington	25% para 1995	28% en 1990	1.574

Tabla 1.5.2 Metas de reciclaje por estados en EU.

Fuente: Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes, INE SEDESOL 1993.

Sin embargo la perspectiva de los fabricantes de envases con respecto a la legislación en 1992, era preocupante por las presiones económicas que implica el cumplimiento de metas de reciclaje tanto a nivel estatal como nacional. La demanda de reciclaje es alta, pero el valor de los subproductos esta en su punto mas bajo, debiendo competir además con un precio deprimido de las materias primas vírgenes.

#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

Debido a esta situación es posible que los ingresos que se esperaban captar con programas de reciclaje no se acerquen a las proyecciones originales.

Si esto continuara, se traduciría en una menor presión de reciclaje o en una baja en la demanda de materiales reciclados, por lo que los legisladores y la propia industria están obligados a crear nuevas normas que hagan crecer la demanda de los materiales reciclados, debido a que la necesidad de resolver el problema del manejo de residuos sólidos continuará.

#### Legislación en Canadá

La industria del envase y embalaje en Canadá es de \$12 mil millones CaD (dólares canadienses), de acuerdo con la compañía Levesque Beaubien Inc. , de este total, los envases para alimentos y bebidas representan el 60%. La industria del envase es una de las principales factores de la economía canadiense, en el cual trabajan mas de 52 mil personas. Sin embargo existe muy poca normatividad, ya sea federal o provincial, orientada hacia la cantidad de los tipos de envases y embalaje.

En lugar de una Ley Federal, se tiene un documento de titulo "Protocolo Nacional del Envase y el Embalaje" en donde se hace un llamado a los industriales para que actúen voluntariamente y se definen mecanismos por medio de los cuales se orientan y apoyan las iniciativas industriales, también se plantea el requerimiento a los gobiernos federal y provinciales de que cuando implanten reglamentación a la producción, uso y disposición de los envases, solamente especifiquen requisitos de desempeño, metas y fechas para alcanzarlas.

Este Protocolo fue adoptado el 20 de marzo de 1990, constando básicamente de 6 políticas:

- 1) Todos los envases que se utilicen en Canadá tendrán un impacto mínimo sobre el medio ambiente.

Importancia de la legislación a nivel nacional e internacional del reciclado de plásticos

- 2) Las prioridades en la gestión integral de envases y embalajes será: Reducción de origen, Reutilización y Reciclaje.
- 3) Campañas de educación, información y capacitación permanentes.
- 4) El conjunto de políticas será aplicado a todos los envases usados en Canadá, incluyendo los de importación.
- 5) Se implantará la normatividad que sea necesaria para lograr el cumplimiento de este conjunto de políticas.
- 6) Todas las políticas, lineamientos y acciones gubernamentales de cualquier nivel que afecten a los envases y embalajes, deberán ser consistentes con este conjunto de políticas nacionales.

El Protocolo Nacional propone las siguientes metas para el gobierno y la industria:

- 1) Para el 31 de diciembre de 1996, el 17.5% de los residuos de envases deben ser reciclados y un 17.5% deben tener reducciones en la fuente o reutilización con respecto a los niveles de 1988.
- 2) Para el 31 de diciembre del 2000, 25% deben ser reciclados y 25 % reutilizados con respecto a 1988.

Después de haberse establecido el Protocolo, se adoptó un "Código Canadiense de Prácticas Preferenciales de Envasado" que representa un compromiso de las instituciones involucradas para alcanzar las metas de disminución de desechos, el cual representa un esfuerzo voluntario y cooperativo que ha logrado fijar un conjunto de metas flexibles; la industria está en libertad de escoger los caminos más eficaces para cumplir con dichas metas, claro que si los resultados no se empiezan a dar, se corre el riesgo de que se implanten medidas reglamentarias obligatorias.



#### Análisis de la problemática del reciclado de plásticos

El código canadiense de prácticas preferenciales de empaquetado establece:

- a) Reducción de origen (en la fuente). La opción preferida es ningún envase, en seguida se sugiere utilizar la cantidad mínima de materiales de envasado.
- b) Reutilización. Se debe considerar el uso de envases retornables.
- c) Reciclaje.

Siempre que sea posible se deben emplear materiales reciclados. La primera opción es emplear el material reciclado en la misma aplicación. Cuando no exista otra alternativa deberá usarse el material reciclado en otras aplicaciones.

#### *1.5.2 Estado de la legislación en México.*

El gobierno mexicano ha trazado estrategias a mediano y largo plazo, que fueron presentadas en el Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994. A partir de ellas se requiere establecer una Política Nacional más específicamente enfocada en los residuos sólidos que considere el uso de los materiales (entre ellos el reciclado y rehusos) y la recuperación de energía.

Actualmente en el reglamento de limpieza del DF se tiene una muestra muy clara de la limitada visión de las autoridades en cuanto al manejo de la basura municipal, ya que el sector correspondiente no ha considerado la dimensión del problema ecológico que originó un manejo inadecuado e incompleto de los residuos sólidos, en el no se observan los problemas que ocasiona la basura vertida en los múltiples tiraderos oficiales y clandestinos que existen en la ZMCM pues sólo se preocupa en tener una ciudad "limpia", sin basura en las calles y no se establece una estrategia coherente para resolver el problema.

#### Importancia de la legislación a nivel nacional e internacional del reciclado de plásticos

En el Estatuto Federal denominado "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" también se minimiza el problema, su estrategia básica se reduce a enterrar los residuos. Ambos documentos dedican pocas líneas a señalar tímidamente que se pueden reducir y reciclar los materiales de desecho, algo que está muy alejado de lo que debería ser una estrategia realista de manejo de residuos sólidos. Además de que se corre el riesgo ante el TLC (Tratado de libre comercio de Norteamérica) de que México quede convertido en el tiradero de los productos y envases que no cumplan con la normatividad en EU y Canadá y desaprovechar el libre comercio para exportar materiales reciclados que ayuden a la economía del país.

Existen iniciativas alentadoras por parte de la iniciativa privada y en el Instituto Nacional de Ecología (SEDESOL) que tienen un proyecto apoyado por la ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), en el cual se presenta un análisis serio de la problemática sobre el manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes, del cual presentamos a continuación las conclusiones en lo referente al reciclado como parte de los planteamientos al Sector Público para la instalación de un "Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales".

De conformidad con las prácticas actuales en varios países desarrollados y de algunos en vías de desarrollo, se considera que un sistema de gestión integral de los residuos sólidos municipales debe incluir algunas o todas de las siguientes componentes:

- 1) Reducción en la fuente o de origen incluyendo rehusos de productos.
- 2) Reciclaje de materiales (incluyendo producción de metano y/o compostaje de los productos orgánicos).
- 3) Incineración de residuos incluyendo recuperación de la energía.
- 4) Disposición final en rellenos sanitarios.

Lo anterior, sin embargo, no es suficiente para administrar de manera efectiva y total el flujo de residuos ya que es necesario contar con varios elementos más para lograr un sistema completo de gestión de los residuos sólidos, algunos de ellos son:

**Análisis de la problemática del reciclado de plásticos**

- a) Conocimiento preciso de la cantidad e identidad de los residuos generados en la zona metropolitana, incluyendo los desechos industriales.
- b) Métodos apropiados de recolección y transporte.
- c) Legislación apropiada para la implantación de las acciones y programas anteriores.
- d) Planes y fuentes de financiamiento, acuerdos de asistencia y cooperación técnica y presupuesto operativo apropiado.

La visión sobre reciclaje que tiene el INE/SEDESOL, es resumida en los siguientes términos:

El reciclaje es un componente crítico de cualquier sistema de gestión integral de los RSM. Es una herramienta que, cuando se utiliza conjuntamente con otros instrumentos de la gestión de los residuos contribuye de manera importante a la integración del sistema total. Adicionalmente, la identificación y el fomento de los mercados de subproductos, así como una estrecha colaboración con la industria y el comercio durante el proceso de planificación, son acciones vitales para el logro de un programa exitoso.

Debido a lo anterior, en México se necesita impulsar con acciones concretas por parte de los involucrados (Gobierno, Industria y Sociedad) en el manejo de RSM la "cultura" del reciclado, si es que se quiere lograr un desarrollo en el país que sea acorde con la protección al medio ambiente.

# **ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

## **Capítulo II. Definición y usos de la resina PET**

### **Objetivo:**

Conocer las características y principales usos de la resina PET virgen.





### **2.1 Definición y características de la resina PET.**

El descubrimiento del Polietileno Tereftalato mejor conocido como PET fue patentado como un polímero para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941. La producción comercial de fibra poliéster se inició en 1955, desde entonces el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto grado de sofisticación basado en el espectacular crecimiento del producto a nivel mundial y la diversificación de sus posibilidades. Además de su expansión en una amplia gama de películas, el PET recientemente ha presentado un significativo progreso en el campo de las aplicaciones como material para la fabricación de botellas y envases de una gran variedad de productos como bebidas carbonatadas, licores, cervezas, sidras, cosméticos y perfumes que requieren larga vida de anaquel.

El empleo del PET para fabricación de botellas se inicia en EU por Dupont en el año de 1975, cuando se patentó el proceso de estirado-soplado con el que se producen botellas de extraordinaria resistencia y transparencia; más adelante se detallará este proceso.

Las principales razones por las cuales se explica el cambio de materiales en la fabricación de botellas son detalladas a continuación:

- 1) **Factor barrera.** Denominamos factor barrera a la resistencia que ofrece el material con el que está construido un envase al paso de agentes exteriores al interior del mismo. Estos agentes pueden ser malos olores, gases ofensivos para el consumo humano, humedad, contaminación, etc.

El PET se ha declarado excelente protector en el mercado de productos alimenticios, precisamente por su buen comportamiento de barrera (se alarga la vida de anaquel de los productos envasados).

- 2) **Transparencia.** Si el producto envasado debe ser visto por el consumidor, la claridad y transparencia obtenida con éste material en su estado natural, es decir, sin colorantes, es muy superior a la mayoría de los termoplásticos, obteniéndose un elevado brillo (su transparencia es comparada al cristal). No obstante, puede ser pigmentado sin ningún inconveniente.

#### Definición y usos de la resina PET

- 3) **Peso.** Un envase requiere una consistencia aceptable para proteger el producto que contiene y darle al consumidor una sensación de seguridad. En el caso del PET se tiene por ejemplo que el envase de 1.5 lts. pesa de 37 a 39 grs., si se compara con el PVC que para el mismo envase tiene un peso de 50grs., se verá que el peso de un envase de PET es 25% menor que uno de PVC. Esto conlleva a una mayor seguridad en el manejo de envases de gran volumen.
- 4) **Resistencia química.** El PET es resistente a múltiples agentes químicos agresivos, superando ampliamente al PVC. Según la industria del envase, se tiene al PET como muy resistente al metanol, glicerina, cloro, oxígeno, agua, cianuros y fluoruros.
- 5) **Degradación térmica.** La temperatura que soporta el PET sin deformación ni degradación le permite superar a un gran número de termoplásticos. Téngase en cuenta que este material se extruye a temperaturas superiores a 250 °C., siendo su punto de fusión de 260 °C.
- 6) **Total conformidad sanitaria.** EL PET aventaja a varios materiales en cuanto a calidad sanitaria por sus excelentes cualidades en la conservación del producto. Para la FDA los envases producidos con PET son totalmente inofensivos cuando están en contacto con productos de consumo humano.
- 7) **Fácil reciclado y recuperación.** Puede reciclarse en forma química en un número indefinido de veces para ser usado en la elaboración de envases que contienen productos de consumo humano, o también es reciclado en forma mecánica en productos como fibras de relleno, resinas de poliéster y otros.
- 8) **Alta resistencia al impacto.** Es irrompible y reduce los riesgos de trabajo así como las mermas.
- 9) **Facilita el manejo dentro de las líneas de producción, transporte, tiendas, anaqueles, casa.**
- 10) **Flexibilidad en el diseño.** Puede producirse en numerosas formas de acuerdo con las necesidades del envasador.
- 11) **Tiene un poder calorífico similar al Carbón.**

## 2.2 Proceso de fabricación de la resina PET

Existen 2 reacciones básicas para la obtención de la resina PET entre el Etilen Glicol (EG) y el Ácido Tereftálico (TPA) ó Dimetil Tereftalato (DMT) las cuales se muestran en la siguiente figura:

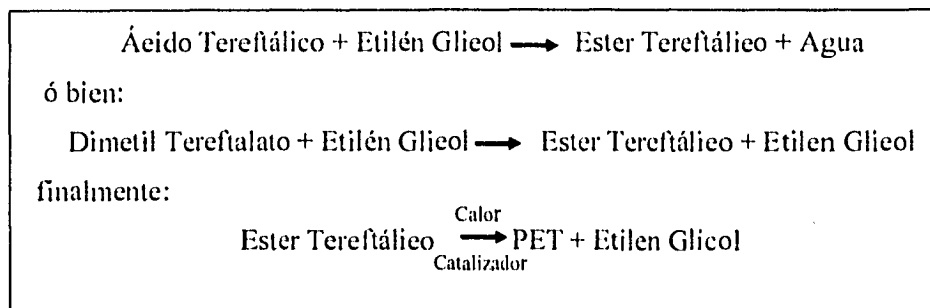


Figura 2.2.1. Reacciones para producir PET.

Fuente: Celanese Mexicana, S.A.

El EG reacciona con el TPA a través de una reacción de esterificación ó con el DMT en cuyo caso se trata de una reacción de trans-esterificación. El proceso consta de dos fases las cuales se explican a continuación.

Las materias primas que son necesarias en la producción de PET las produce PEMEX. El TPA se obtiene a partir del paraxileno y el EG que es el reactivo limitante en la reacción de esterificación para la producción de poliéster se obtiene a partir del óxido de etileno.

En la primera fase se obtiene un éster, que mediante un proceso de policondensación se convierte en un poliéster, el cual es obligado a pasar por un dado de orificios múltiples para obtener un espagueti que se enfría en agua, una vez semi-sólido es cortado en un pelletizador de alta velocidad para obtener el granulado de PET que contiene las características siguientes:

- 1) Es Amorfo
- 2) Posee un alto contenido de acetaldehido
- 3) Presenta una baja viscosidad intrínseca (bajo peso molecular)



**Definición y usos de la resina PET**

En la segunda fase, el PET amorfo pasa a un precristalizador donde es secado; después se cristaliza en un polimerizador de fase sólida (SPP) en donde se obtiene la viscosidad deseada, mejorando en forma simultánea el contenido de acetaldehído, el peso molecular y la cristalinidad (desde un 6% en amorfo hasta un 52% cristalino).

Finalmente el polímero se enfría para ser envasado y distribuido para posteriormente ser convertido en envases por el proceso de estirado soplado.

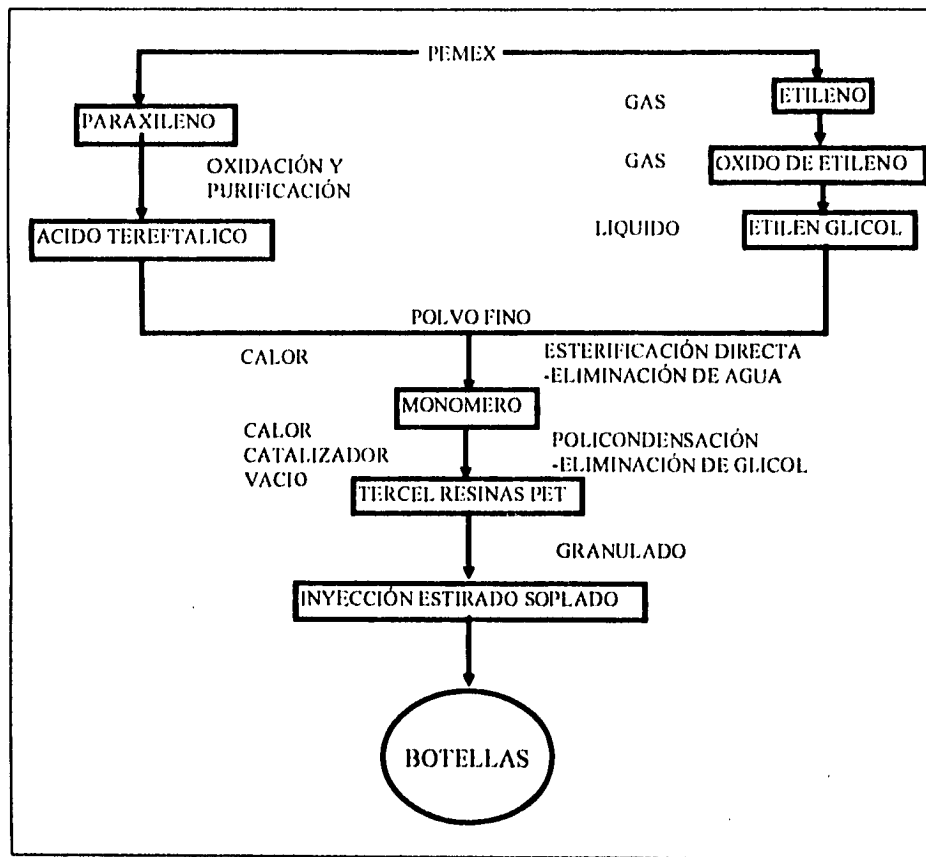


Figura 2.2.2 Proceso de producción de la resina PET.

Fuente Celanese Mexicana, S.A.

### ***2.3 Proceso de fabricación de los principales productos hechos a base de PET virgen.***

#### ***2.3.1 Usos de la resina PET virgen.***

Los productores de la resina PET en México son Celanese Mexicana, S.A. (con tecnología Celanese-Hoechst) y Kimex, S.A. de C.V. (con tecnología Goodyear). Estas dos empresas fabrican la resina y preformas para botella; es decir, que el principal uso que se le da a esta resina es para la fabricación de envases.

Estas empresas cubren hasta un 80% del total de las necesidades de la industria<sup>1</sup>. En la industria refresquera el PET ha desplazado prácticamente en un 50% al vidrio por su estructura molecular bio-orientada con lo que se obtiene una excelente barrera al oxígeno y a microorganismos, además de que se consiguen envases ligeros, transparentes y prácticamente irrompibles, con una alta resistencia a la gran presión interna que generan las bebidas carbonatadas.

En la industria aceitera en México, por lo menos un 70% de los principales productores han adquirido maquinaria para la producción de su envase, haciendo a un lado al PVC. Con lo que se ha logrado excelente cristalinidad que le da la apariencia de "limpio" al envase, siendo estos atributos importantes para las amas de casa que ven en estos productos la transparencia de los mismos y lo ligero que son para su manejo, además de que se prolonga la vida de anaquel por lo menos en un 50% gracias a su barrera de oxígeno.

Las modernas plantas envasadoras de agua han incursionado en el mercado nacional y han logrado ser del agrado del público gracias al PET, sin este higiénico, ligero, transparente y ecológico envase, habría sido imposible haber podido penetrar en el mercado del agua purificada en presentación de 1.5 lts, ½ lt y 350 ml.

Así mismo esta oportunidad de negocio ha hecho que algunas envasadoras nacionales participen con su producto en el mercado internacional.

---

<sup>1</sup> Fuente: Celanese Mexicana S.A. de C.V., julio 1995

#### Definición y usos de la resina PET

Por lo que toca a la industria farmacéutica, la elaboración de envases de hasta 500 ml. ha sido recibida con gran aceptación, ya que gracias a este envase se han podido aligerar las cargas en los transportes y uno de los mayores beneficios al público es que no se corren riesgos de ruptura por caídas accidentales, además de que las cualidades mecánicas del PET permiten conservar en mejor estado los medicamentos.

Grandes corporaciones europeas de perfumería han adoptado al PET como envase para sus productos, entre ellas se encuentran importantes firmas como: GUY LA ROCHE y FIDJI.

A continuación se presentan los principales sectores de mercado en México en cuanto al consumo de PET grado botella:

<i>Lugar</i>	<i>Sector industrial</i>	<i>% de Mercado</i>	<i>Envase en grs (vol.)</i>
1	refrescos	48.35	56 (2 lt)
2	cerveza	12.7	56 (2 lt)
3	mayonesa	12.7	35 (0.5 lt)
4	chiles	6.0	40 (0.5 lt)
5	agua mineral	5.8	56 (2 lt)
6	aceite comestible	5.6	32 (1 lt)
7	insecticidas dom.	2.4	46 (1 lt)
8	licores	2.0	50 (1 lt)
9	cosméticos	1.4	30 (1 lt)
10	agroquímicos	1.0	46 (1 lt)
11	fármacos	0.5	17 (0.15 lt)
12	alimentos solubles	0.4	35 (1 lt)
13	accitunas	0.3	40 (0.5 lt)
14	sidra	0.1	40 (0.75 lt)
15	vinos	0.1	118 (3-4 lt)
16	otros	0.1	30 (1 lt)
	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	

Tabla 2.3.1 Uso de la resina PET en México según su mercado

Fuente: INFOTEC 1987

Proceso de fabricación de los principales productos hechos a base de PET virgen

En el siguiente cuadro se muestra el uso de la resina PET a nivel general en los EU en el año de 1987, esto nos da una idea de cuales son las áreas de la industria en las que se utiliza la resina:

Aplicación	Consumo (miles de toneladas)	Porcentaje
Envase	400	51 %
Película biorientada	300	38 %
Copolímeros	30	4 %
Grado ingeniería	20	3 %
Otros	25	3 %
<b>TOTAL</b>	<b>775</b>	<b>100%</b>

Tabla 2.3.2 Demanda de PET en EU, 1987

Fuente: Tesis "Diagnóstico de la situación económica de los plásticos de ingeniería"  
Hidalgo y Sánchez, Facultad de Química 1990

La resina PET también puede ser utilizada como material flexible de barrera en un depósito de Silicio, es decir, el objetivo es lograr la mejor barrera posible a gases, humedad, sabores, olores, luz, etc. al precio mínimo con el máximo grado de maquinabilidad e impermeabilidad y con la mejor apariencia posible.

Otro campo de investigación se refiere a mezclas de resinas con el propósito de reemplazar la coextrusión. Esto ha generado altas expectativas, especialmente en Japón. Las mezclas de PET-EVOH (copolímero de etileno y alcohol vinílico) y PET-MXD6 (película biorientada) ya están siendo comercializadas.

Para el PET grado ingeniería, el mayor porcentaje de aplicación a nivel mundial corresponde a partes que han sido moldeadas por inyección y se usa en aplicaciones que requieren altos niveles de rigidez y estabilidad dimensional, particularmente se necesita que los productos hechos con PET grado ingeniería soporten elevadas temperaturas. En el siguiente cuadro se muestra como el área Eléctrica-Electrónica es la de mayor demanda comparada con otras áreas de aplicación del PET grado ingeniería:

#### Definición y usos de la resina PET

USOS	DEMANDA EN EUA (PET y PBT)	DEMANDA EN JAPÓN (PET)
Eléctrico-Automotriz	29 %	---
Electrónico	29 %	70%
Instrumentos	17 %	---
Plomería	15%	---
Partes de maquinaria	---	25%
Otros	10 %	5%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Tabla 2.3.3 Distribución de la demanda de la resina PET grado ingeniería en los últimos años.

Fuente: Tesis "Diagnóstico de la situación económica de los plásticos de ingeniería PET y PBT"  
Hidalgo y Sánchez, Facultad de Química 1990

Algunas de las aplicaciones que tiene el PET grado ingeniería son: Tableros, cajas y parrillas en la industria automotriz, botones para accionar switch, fabricación de linternas, fabricación de sockets, terminaciones en bujías de encendido, entre otras.

En la industria, la combinación de una alta dureza y baja absorción de humedad permite el uso de PET reforzado en aplicaciones como la estructura y los brazos de las sillas, carcazas de bombas y algunas herramientas manuales.

Esto se debe a que el PET grado ingeniería posee las siguientes características importantes que lo hacen adecuado para los usos arriba mencionados:

- a) Resistencia al calor y temperatura de deflexión
- b) Resistencia química
- c) Alta rigidez
- d) No flamable
- e) Poder dieléctrico
- f) Resistencia al impacto

De esta forma se muestra la variedad de aplicaciones que tiene la resina PET en general. Particularmente el PET grado botella presenta un incremento considerable tanto en su producción como en el número de aplicaciones en los últimos años, lo que supone un incremento en los desechos de esta resina y por ende un incremento en la producción de PET post-consumo (PETPC).

### 2.3.2 Proceso de fabricación de botellas de PET virgen.

En la actualidad existen dos tecnologías para la fabricación de envases de PET que son: La de una etapa que utiliza solo una máquina y la de dos etapas que utiliza dos máquinas, las cuales se describen a continuación<sup>2</sup>.

1) Dos etapas. Esta forma de producir envases se realiza en dos pasos; por medio de éstos se obtienen envases con las características requeridas de cierre hermético y alta resistencia al impacto, facilidad de transportación, brillantez y una baja permeabilidad a gases y vapores.

El primer paso es el secado de los pellets de la resina para asegurar la total transparencia del producto final; una vez hecho lo anterior, éstos se alimentan en forma continua a las máquinas inyectoras con cavidades múltiples que inyectan a presión hasta llenar perfectamente cada hueco.

En la inyectora se moldean las preformas (los moldes pueden tener hasta 96 cavidades), se enfrían y se sacan del molde para ser almacenadas y posteriormente enviadas a donde se localiza el equipo de soplado.

Así se obtiene la preforma (fig. 2.3.1), que presenta la boca del envase en forma definitiva y con la precisión milimétrica necesaria para su cierre hermético.

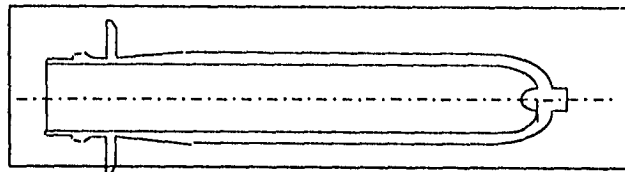


Figura 2.3.1 Preforma de la botella de PET

A continuación se inicia el segundo paso del proceso, de donde se obtiene el envase definitivo por soplado.

<sup>2</sup> El PET en la industria del envase, Plásticos de México, Junio 1995

#### Definición y usos de la resina PET

Primero se somete la preforma a un proceso de calentamiento gradual y preciso para lograr la distribución adecuada de material en el envase. La preforma caliente entra a un molde en donde con movimientos rápidos se estira por medio de una varilla y a continuación se infla hasta tomar la forma del molde utilizando aire a alta presión (biorientación), como se observa en la siguiente figura.

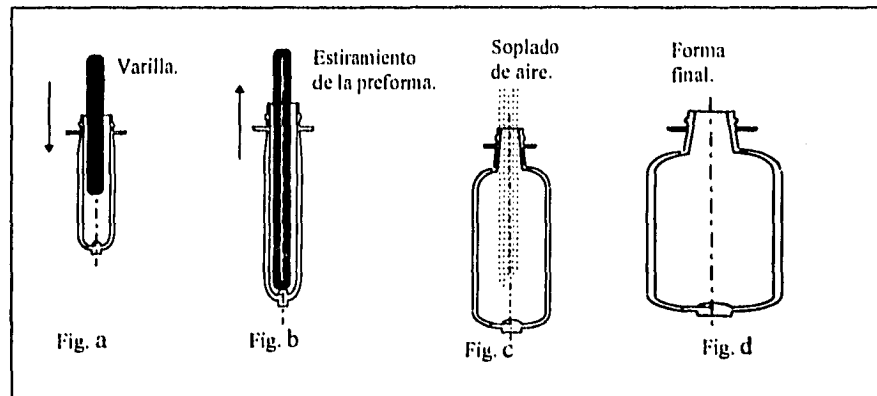


Figura 2.3.2. Secuencia de pasos en la producción de botellas de PET.

Esta secuencia de pasos provoca que las moléculas se acomoden en forma de red y da al material las propiedades de resistencia e impermeabilidad que se requieren.

A lo largo de todo el proceso se debe realizar un estricto control de calidad por computadora, en cada paso se chequean automáticamente las variables de las que depende el producto final.

El control separado de recalentamiento y soplado permite a cada uno de estos pasos críticos ser optimizados. Las preformas pueden ser diseñadas con la mejor combinación de longitud y grosor de pared, sin limitar el proceso de recalentamiento para dar el más alto nivel de orientación.

La flexibilidad en el diseño de las preformas permite obtener el peso más bajo posible en una botella manteniendo las normas de industria en cuanto al grosor mínimo de la pared de la botella, resistencia a la carga máxima, etc.

#### Proceso de fabricación de los principales productos hechos a base de PET virgen

- 2) Una etapa. Los envases se fabrican en una sola máquina pasando por cuatro pasos que son: Inyección en caliente, Acondicionamiento de la preforma, Estirado-Soplado (Biorientación) y Eyección, lo cual representa un proceso de dos movimientos. En el primer movimiento; el material ya seco se hace pasar a un inyector (calentador por resistencias eléctricas), aquí la resina fundida se inyecta a un molde (con varias cavidades) en donde se formará la preforma.

El segundo movimiento consiste en calentar las preformas y colocarlas dentro de un molde de soplado el cual tiene la forma del envase a producir, la preforma se estira por medio de un mandril accionado neumáticamente y en forma simultánea se sopla, aplicando aire a una alta presión para biorientar el material.

Esta forma de procesar el PET mediante el proceso de moldeo, inyección, estirado y soplado (una etapa) posee varias ventajas, entre las cuales están que los envases son producidos sin desperdicios, sin costuras y con una superficie de alta calidad, además, se tienen variaciones mínimas de peso, estabilidad dimensional y una gran uniformidad en el espesor de pared.

Un sistema novedoso recientemente presentado es la última alternativa para soplado en envases en PET (extrusión-soplado).

Este es el sistema clásico de formado de botellas, aunque con algunas adaptaciones de carácter técnico. En éste sistema la resina PET se introduce en la máquina para llevar a cabo la extrusión y la almacena en un cabezal acumulador diseñado para tal efecto. Cuando el moldeo necesita del material, una rápida expulsión permite el soplado del mismo, generándose el envase en un solo paso, y no interviniendo la preforma.

De esta forma se obtiene un envase de alta calidad pero con un costo muy inferior a la inyección estirado-soplado.

Entre los envases elaborados a base de PET resaltan por su importancia tecnológica y económica los siguientes:

- a) La primera botella reutilizable para refresco que permite disminuir la cantidad de desechos plásticos y aumentar el tamaño de las presentaciones retornables.



#### Definición y usos de la resina PET

- b) La botella de llenado en caliente (85 °C) para jugos y bebidas isotónicas (jugos, jugos de fruta, etc.), este envase permite pasteurizar y dar una larga vida de anaquel a los productos; también posibilita las presentaciones en tamaños grandes con la ventaja de ser ligeros y seguros.

Estos son a grandes rasgos los procesos de elaboración de botellas de PET, sin embargo existe un proceso que utiliza 2 capas de resina virgen y una de PET de desecho para la producción de envases llamado Multicapas ó *Sandwich Bottles* que se describirá con detalle en el capítulo 3.

#### 2.3.3 Período de uso de las botellas de PET.

Los envases de PET en sus diferentes presentaciones, son diseñados de acuerdo al uso final que estos tendrán en el mercado, por ejemplo, los envases de refresco retornables están diseñados para ser retornables, los desechables, están diseñados para que después de un período de uso corto sean desechados. Así es como botellas para aceites y salsa catsup (desechables) no necesitan características de barrera tan altas y tienen propiedades mecánicas bajas comparadas con las de los envases retornables. Los envases retornables de refresco (Coca-Cola) tienen un período de uso de hasta 2 años<sup>3</sup>, en el caso de botellas que contienen agua pura, este promedio se eleva hasta casi el doble de tiempo, es decir 4 años.

Para el primer caso, --envases retornables de refrescos-- este promedio obtenido es debido a efectos de transporte de las botellas, temperaturas y presiones que afectan las propiedades mecánicas de las mismas durante su vida útil. Cabe mencionar que este promedio varía mucho dependiendo de las condiciones de los lugares de producción y consumo de los refrescos, es decir, las distancias que deben recorrerse desde las plantas de producción hasta los lugares de consumo, la temperatura de la zona, y la presión interna en las botellas.

Sobre este último punto, las botellas sufren una deformación por el gas que contienen (CO<sub>2</sub>), es decir, se hinchan, lo cual provoca que el período de uso se reduzca, ya que las especificaciones de los envasadores indican que la presión de llenado debe ser de 4 volúmenes a l y si la botella tiene un volumen mayor debido a su hinchamiento, entonces no se cumplirá con los requerimientos de producción.

---

<sup>3</sup> Fuente: NAPCOR, junio 1995

#### Proceso de fabricación de los principales productos hechos a base de PET virgen

A continuación se citan las causas más importantes que determinan el que las botellas retornables de PET se vuelvan inservibles:

- a) Hinchamiento de la botella debida a la presión interna que provoca el CO<sub>2</sub>.
- b) Mal uso por parte de los consumidores (no sanitario, contaminación, rayado, abuso, agentes químicos, etc.).
- c) Pérdida de hermetismo debido a que en el cuello y base de la botella existe una menor biorientación y esto provoca que disminuyan sus propiedades mecánicas.
- d) Que no sea estéticamente aceptable (deformaciones, cuarteaduras, opacidad, etc.)

Estas causas que provocan que las botellas no se puedan volver a usar deben ser tomadas muy en cuenta, ya que hay que recordar que una de las principales fuentes de aprovisionamiento de materia prima para la producción de PETPC son precisamente las botellas de desecho y que un uso inadecuado por parte de los consumidores que las contamine, provoca una disminución en la eficiencia del proceso o la imposibilidad de llevarlo a cabo.

#### ***2.4 Volumen de la resina virgen que se consume actualmente y perspectiva de mercado a nivel nacional y mundial.***

##### *2.4.1 Situación mundial.*

El consumo mundial de PET ha mostrado aumentos considerables en los últimos años, ya en 1992 se consumían 1.72 billones de kgs. en el mundo, registrando un aumento del 19.1% respecto a 1991. Este crecimiento es reflejo del incremento del mercado para envases de bebidas carbonatadas, tradicional uso del PET, desplazando a las botellas de vidrio. Otro estímulo es la sustitución del PVC por PET en envases para cosméticos y productos de tocador así como para aceites comestibles, envases de cuello ancho y para otros usos alimenticios.

**Definición y usos de la resina PET**

En la tabla 2.4.1 se observa como el 52% del volumen consumido es para botellas de bebidas carbonatadas. Los niveles de empleo son cada vez más altos si se incluyen las botellas de llenado en caliente (empleadas en jugos de frutas y otros) y los envases retornables. En el sector de las botellas retornables y rellenables el PET esta desplazando al vidrio rápidamente. El mercado más grande sigue siendo Estados Unidos con el 48.81% seguido de Europa con 28.49%. Analizando la situación de los EU tenemos que los envases de bebidas carbonatadas ocuparon el 57.3 % de su consumo total de PET grado botella en 1992.

<b>País</b>	<b>BC<sup>1</sup></b>	<b>Llenado en caliente</b>	<b>Retornables rellenables</b>	<b>Agua mineral</b>	<b>Aceite comestible</b>	<b>Otros<sup>2</sup></b>
Europa	244		21	111	22	92
E.U.A.	413	45		13	18	213
Latino América	14	1	17	4	5	3
Canadá	25			4		3
Japón	35	61		4	19	29
Corea	28	10		2	5	11
Taiwan	9	1		2	3	2
China/ Hong Kong	40			13	2	1
Medio Este	20			10	3	9
África	10		2	1	1	2
Resto del mundo	54	1	10	19	21	12
<b>Total</b>	<b>892</b>	<b>119</b>	<b>50</b>	<b>183</b>	<b>99</b>	<b>377</b>

Gran total: 1720 (miles de tons.)

<sup>1</sup> Botellas de bebidas carbonatadas.

<sup>2</sup> Se incluyen otros contenedores de bebidas, empaques de productos no comestibles y otras aplicaciones.

Tabla 2.4.1 Consumo mundial de PET por usos finales

Fuente : Modern Plastics Noviembre 1993.

Mientras que el mercado de botellas para bebidas continúa siendo el más grande, con un 70% del volumen total de PET consumido a nivel mundial, el crecimiento de este sector ya está bastante maduro y otros mercados presentan un mayor dinamismo, por ejemplo:

- a) El embalaje termoconformado de alimentos y mercancías con PET amorfo y cristalino con un crecimiento del 25 % y un mercado de 112,500 tons. para 1994.

- b) Botellas reutilizables moldeadas por inyección-soplado, con espesores más gruesos que llegan a pesar el doble que las de PET normales. Tuvieron un crecimiento del 15%, con un consumo para 1994 de 37,500 tons. especialmente en América Latina y algunas áreas de Europa.
- c) Las botellas para bebidas individuales con gas tendrán un crecimiento de 25% para 1995, aunque todavía la base del consumo es menor.
- d) Contenedores para jugos y bebidas isotónicas para deportistas rellenables en caliente, también se espera un crecimiento de 25 % en los próximos años
- e) Los grados de PET para moldeo por extrusión y soplado representan un área con relativamente pequeño crecimiento, a pesar de que Dupont estima que el mercado puede alcanzar las 150,000 tons. en 10 años.
- f) Otro mercado es el de las botellas de poco volumen utilizadas en cosméticos y perfumería.

La razón principal para el incremento de popularidad para envases de PET sigue siendo su fácil reciclado y la imagen de material compatible con el ambiente, en este sentido, el nivel de reciclado de envases de PET en 1992 fue de 27% más alto que el 24% del año anterior en los EU.

Todas las ventajas que representa el PET han provocado que su demanda aumente, pero no se tiene que perder de vista que la capacidad instalada del PET debe cumplir con las expectativas del mercado. En 1992 se tenían niveles altos del precio de la resina, sin embargo se a logrado contener la presión de un aumento en el precio del PET mediante aumentos de capacidad durante el periodo de 92-93, las empresas que aumentaron la capacidad instalada fueron: Eastman Chemicals (Reino Unido), Hoechst (EU y Alemania) Shell (Italia), Mitsui (Japón), ICI (Reino Unido y Holanda) y Shinkang (Taiwan).

#### Definición y usos de la resina PET

Muchos productores anuncian aumentos en su capacidad o la instalación de nuevas plantas para el primer periodo de 1994-1996, entre los que se incluyen Nam Ya (EU), Eastman Chemicals (México, Europa y sureste de Asia), Shell (EU), ICI (Europa), Far Eastern Textile (Taiwan), Thuringische Faser (Europa) e Indo Rama (Indonesia). La localización de estas plantas marca las expectativas del PET para el desarrollo de nuevos mercados en Latinoamérica, Europa del Este y el Sureste de Asia.

En términos de volumen, la demanda global para el PET se estimó en alrededor de 2 millones de tons. para 1993 y se piensa que llegará a 4 millones de tons. para el año 2000, como se muestra en la tabla 2.4.2. Esto tiene una especial significación considerando que el consumo de PET empezó en 1977 y en 1989 la producción estaba cercana al millón de tons.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000
Norte América	564	644	759	847	950	1032	1113	1398
Europa	367	404	490	567	641	710	765	999
Lejano Este	205	276	318	383	468	567	634	938
Resto del mundo	89	119	153	188	225	266	304	457
<b>Total</b>	<b>1225</b>	<b>1443</b>	<b>1720</b>	<b>1985</b>	<b>2284</b>	<b>2575</b>	<b>2816</b>	<b>3792</b>

Tabla 2.4.2 Consumo proyectado de PET por región, 1990-2000 (miles de tons.).

Fuente: Modern Plastics Noviembre 1993.

Sin embargo el desarrollo de materiales que quieren competir con el PET continúa. El nuevo polímero termoplástico con aspiraciones de irrumpir en el mercado es el Nafalato de Polietileno (PEN). En muchas áreas el PEN es superior al PET sin embargo su costo es de hasta 2 a 3 veces mayor que el PET.

Las ventajas del PEN han sido reconocidas por algunos productores de PET para evaluar la combinación de este producto con el PEN, y eliminar algunas de las debilidades del PET logrando optimizar los aspectos económicos.

Sin duda, la aparición de nuevos aspirantes para participar en el mercado de botellas que se estima llegará a 4 millones de tons. de consumo anual para el año 2000, va acentuar la competencia entre los fabricantes de las materias primas y va a contribuir al desarrollo de nuevas y más refinadas técnicas de procesamiento.

Probablemente ventajas técnicas y aspectos económicos van a determinar en que sectores y para que productos se utilizará una materia prima específica y todos estos desarrollos tecnológicos redundarán en beneficios para los consumidores y el medio ambiente.

#### 2.4.2 Situación Nacional.

En el mercado nacional de resinas sintéticas, en el cual el PET esta considerado dentro de las de consumo medio, los principales productores son Celanese Mexicana, S.A. y Kimex, S.A. de C.V. quienes en 1994 ya cuentan con una capacidad instalada de 90,000 ton/año y 12,000 ton/año respectivamente, además Eastman Chemical esta construyendo durante este 1995 una nueva planta en Cosoleacaque, Veracruz, con una capacidad instalada de 120,000 ton/año.

La participación del PET en el mercado de resinas sintéticas en México muestra la importancia que esta adquiriendo este material. En la tabla siguiente se observa que la variación más importante durante el período de 1993/1992 fue la del PET con 68.2%.

<i>Tipo de resina</i>	<i>% de Part. 1992</i>	<i>% de Part. 1993</i>	<i>Variación 1993/1992</i>
<b>Resinas Termoplásticas</b>			
Policloruro de vinilo	11.53	16.26	41.0
Poliestireno	9.53	9.95	4.4
Poliétilen tereftalato	1.32	2.22	68.2
Poliétileno de alta densidad	17.97	15.08	-16.1
Poliétileno de baja densidad	27.84	24.55	-11.8
Polipropileno	11.71	10.53	-10.1
<b>Total de resinas Termoplásticas</b>	<b>79.90</b>	<b>78.58</b>	<b>-16.5</b>
<b>Total Resinas Termofijas</b>	<b>20.10</b>	<b>21.42</b>	<b>6.6</b>
<b>Total Resinas Sintéticas</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	

Tabla 2.4.3 Participación relativa en el mercado de resinas sintéticas en México.  
Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana Edición 1994.

#### Definición y usos de la resina PET

La producción de la resina PET en nuestro país alcanzará para 1995 en las empresas Celanese Mexicana y Kimex la cifra de 51,000 tons. (estas empresas juntas abarcan actualmente el 90 % de la producción nacional), lo anterior no quiere decir que se encuentren trabajando al 50 % de su capacidad instalada, además de esto, hay que contar la producción de las preformas de botellas que en estas empresas se espera en 51,000 tons. haciendo un total de 102,000 tons. Tomando en cuenta la producción de otras empresas que recientemente están incursionando en este mercado y las importaciones, se estima<sup>4</sup> que el consumo total en el país en este año será de 110,000 tons.

TONELADAS	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Producción	18,093	14,853	16,092	17,645	24,552	33,289	25,270
Importación*	34	81	80	188	275	279	38
Exportación	12,449	6,694	11,036	5,997	5,051	1,491	5
Consumo aparente (C.A.)	5,678	8,240	5,136	11,836	19,776	32,077	25,303
Incremento C.A. %	11.3	45.1	-37.7	130.5	67.1	62.2	-21.1
Capacidad instalada	17,100	17,100	24,500	24,500	24,500	29,700	51,000

Tabla 2.4.4 Balanza Comercial del Polietileno Tereftalato 1988/1993.

Fuente: Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana Edición 1994.

\*Nota: Los datos sobre importación no registran el volumen total que reportan las principales empresas productoras de envases en México, por ejemplo Continental PET Technologies tuvo importaciones de 7,000, 10,000 y 15,000 tons. durante los años 1993, 1994 y 1995 respectivamente; lo cual quiere decir que el consumo aparente es todavía mayor que el que muestran los datos de la ANIQ.

Uno de los aspectos más importantes que no hay que descuidar es la competitividad de los productos, estos deben ser fabricados para competir con el mercado internacional, ya que el libre mercado así lo exige. Por tal motivo y con objeto de recuperar sus mercados habituales, las empresas mexicanas han tenido que equilibrar sus precios con los del mercado internacional; para lo cual se han implementado programas de ahorro de energía, capacitación y reducción de personal, optimización de los procesos productivos, restricción de los márgenes de utilidad y adopción de estrategias comerciales basadas en la especialización y un mejor servicio al cliente.

<sup>4</sup> Fuente: Celanese Mexicana S.A. de C.V. y APREPET, 1995.

Volumen de la resina virgen que se consume actualmente y perspectiva de mercado a nivel nacional y mundial

Se estima que nuestro país demandará en los próximos años por lo menos de 600 a 900 máquinas para satisfacer en un 70% la demanda de envases elaborados con PET, actualmente se cuenta con un promedio de 120 equipos por lo que el crecimiento del mercado se encuentra limitado a la instalación de nuevas plantas.

Finalmente se espera que el mercado de las resinas sintéticas y en especial el del PET continúe creciendo en forma moderada a medida que se vaya dando la sustitución paulatina de materiales tradicionales por plásticos.



# **ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

## **Capítulo III. Reciclado de la resina PET post-consumo**

### **Objetivo:**

Conocer el potencial comercial del PETPC así como los procesos de producción y posibles usos del mismo.



### **3.1 Aplicaciones de la resina PET reciclada.**

Las principales aplicaciones a nivel comercial del PETPC son la fabricación de fibras de poliéster y capas intermedias en laminados para la producción de nuevos envases, sin embargo, es también necesario identificar los posibles mercados potenciales; en este sentido, a nivel mundial existen alrededor de 60 aplicaciones comerciales a partir del PET de desecho las cuales son mencionadas a continuación<sup>1</sup>:

- a) Una gran variedad de bienes caseros, desde juguetes hasta tapas para aerosoles, mangos de utensilios de cocina, cinturones, peines, cajas de cassettes, cercas de jardín, tinas de baño, albercas, etc.
- b) Producción de fibras para ropa, bases de alfombras, velas de barco, cuerdas, lazos, calcetas, cobertores, bolsas, sweters, zapatos, camisetas, etc. (cabe mencionar que ya existe en el mercado estadounidense una marca de ropa "ecológica" llamada "Ecofashion" que lanzo en 1992 la empresa Wellman Inc. de South Carolina principal reciclador en el mundo de botellas de PET).
- c) Geotextiles, materiales de aislamiento y borra de relleno para sacos de dormir, chamarras, cobertores, cojines, etcétera. En la figura 3.1.1 se muestra la cantidad aproximada de botellas necesarias para elaborar artículos hechos a base de fibras de poliéster y geotextiles.
- d) Usado con otros materiales, como la fibra de vidrio. El PETPC es materia prima para procesos de inyección moldeo, mediante estos procesos se fabrican defensas para autos, paneles de refrigeración de camiones, material de aislamiento de muros y techos, cascos de barcos, toldos de autos, etc.
- e) Puede usarse para producir resinas de poliéster no saturadas como el Polímero de concreto y el Polímero de mortero que han sido utilizados por sus propiedades, funcionamiento y uso potencial en aplicaciones estructurales y de ingeniería.

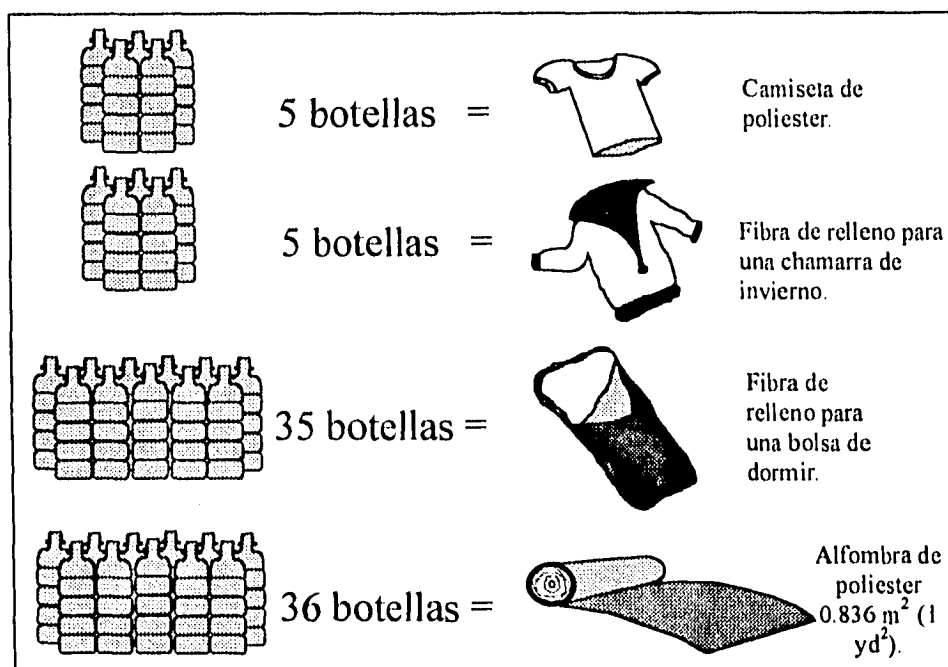
---

<sup>1</sup> Fuente: "Manejo de envases de residuos plásticos" SEDESOL 1993 y Heinz USA 1993

### Reciclado de la resina PET post-consumo

f) Envases no sanitarios, tanto en forma de botella como extruidos, botellas de shampoo, envases de aceite, depósitos de basura. Un método reciente para introducir una capa de PET reciclado entre dos capas de PET virgen permite que este material coextruido si pueda usarse en la producción de envases para alimentos y bebidas. El último logro tecnológico es una botella de refresco con una capa central reciclada en medio de dos de resina virgen.

Este proceso es conocido con el nombre común de "Sandwich bottles" (Multicapas) y se explicará con detalle en otro apartado de este capítulo. Cabe mencionar que el proceso multicapas dio como resultado la producción de envases con alta permeabilidad al oxígeno, lo que permite conservar algunos productos por largo tiempo en presentaciones flexibles y reciclables.



3.1.1 Equivalencia entre botellas de PET y productos fabricados con PETPC.

Fuente: Plastics News, Dic. 1994.

Actualmente en México se utiliza al PET de desecho en cinco procesos que son:

- 1) Fabricación de escobas.
- 2) Tacones para zapatos.
- 3) Alfombras.
- 4) Laminados.
- 5) Espuma de poliuretanos.

### ***3.2 Procesos comunes en el reciclado de PET.***

#### ***3.2.1 Reciclado mecánico.***

El principal esfuerzo dentro de los programas de reciclado debe estar enfocado hacia el reciclado mecánico debido a que éste ha probado ya su rentabilidad desde el punto de vista económico y ecológico y tiene ya desarrollada toda una industria en cuanto a tecnología, procesos y productos post-consumo; además de que la fabricación de la hojuela hecha por medio del reciclado mecánico es la materia prima del reciclado químico en cada una de sus diferentes modalidades y por lo anterior es el inicio de la cadena para cerrar el ciclo completo de reciclado.

A continuación se presenta el proceso que en general siguen las botellas de PET desde su recolección hasta que son convertidas en una gran variedad de artículos (ver figura 3.2.1).

El primer paso en el reciclado de botellas de PET es la recolección de los envases; esto se hace a través de varios métodos según la fuente de aprovisionamiento que puede ser de dos tipos: desechos industriales y residuos domiciliarios. Por ejemplo, en EU y algunas partes de Europa los habitantes de comunidades medias y pequeñas clasifican sus desechos inorgánicos y una comisión especial de la empresa recicladora los recoge para ser enviados a sus plantas, clasificarlos y reciclarlos según sea el caso. Esta es la forma en que se provee de materia prima la empresa mexicana RECIMEX S.A. de C.V., quien ha instalado desde 1994 este tipo de centros especializados de recolección en los principales centros comerciales del valle de México (Perisur, Plaza Universidad, El Toreo, Arboledas, etc.) siendo la primera empresa mexicana que recicla los envases de PET provenientes de los desechos domiciliarios.

#### Reciclado de la resina PET post-consumo

En México las empresas que reciclan al PET lo hacen teniendo como fuente de aprovisionamiento a los desechos industriales, por ejemplo, la empresa "Plásticos Reich" que tiene convenios con empresas productoras de botellas de plástico como Bonafont y Coca-Cola para "retirar" sus desechos y reciclar materiales como el PVC, PET y HDPE principalmente. En un volumen muy pequeño existe la recuperación de materiales reciclables por parte de pepenadores, esta problemática se analizará con detalle en el capítulo 4.

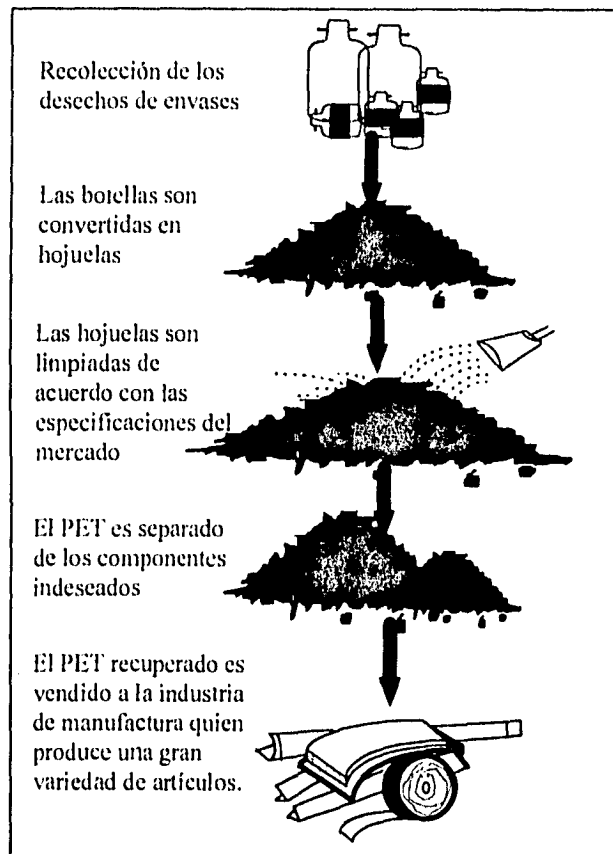


Figura 3.2.1 Proceso general de reciclado de botellas de PET.

Fuente: Eastman Kodak Company, 1992.

#### Procesos comunes en el reciclado de PET

La limpieza en el material recuperado es determinante para evitar problemas en el reciclado como más adelante se verá, es por ello que se prefiere reciclar a los desechos industriales que además no requieren de una organización adicional para recuperar a los materiales reciclables.

Las botellas que se recolectan en los basureros ó a granel requieren de más campañas de educación para el abastecedor, debido a que se encuentran más contaminadas y en ocasiones las muelen antes de entregarlas al reciclador con la finalidad de evitar problemas en el transporte de botellas enteras. Lo anterior provoca que se tengan mayores problemas en las siguientes etapas del proceso de reciclado.

Continuando con el proceso, después de la recolección, se separaran y clasifican los desechos plásticos de forma manual por color y tipo de plástico, este es el método más sencillo y que por lo mismo requiere una inversión inicial baja en comparación con los sistemas de reciclado existentes (actualmente existen equipos muy sofisticados que realizan esta y otras operaciones del proceso en forma automática).

Después se hace una reducción de tamaño; fardos de envases de PET clasificados son enviados a las plantas de reciclado donde alimentan un molino que produce las "hojuelas"; esto se hace mediante un desmenuzador. En estas plantas, las hojuelas pasan a través de una serie de procesos de clasificación y limpieza para separarlas de contaminación y otros materiales. En la figura 3.2.2 se muestra el proceso de reciclado de botellas de PET como se lleva a cabo actualmente en los EU y Europa.

Después de reducir el tamaño de los envases se hace la separación de los materiales livianos. En esta etapa un equipo llamado "clasificador por aire" o "ciclón" separa los materiales tales como papel o etiquetas y las partículas "finas" que se producen durante la molienda. El material es lavado vigorosamente para remover pequeños restos de alimentos, adhesivos y suciedad con una variedad de surfactantes y agentes químicos de limpieza.

Reciclado de la resina PET post-consumo

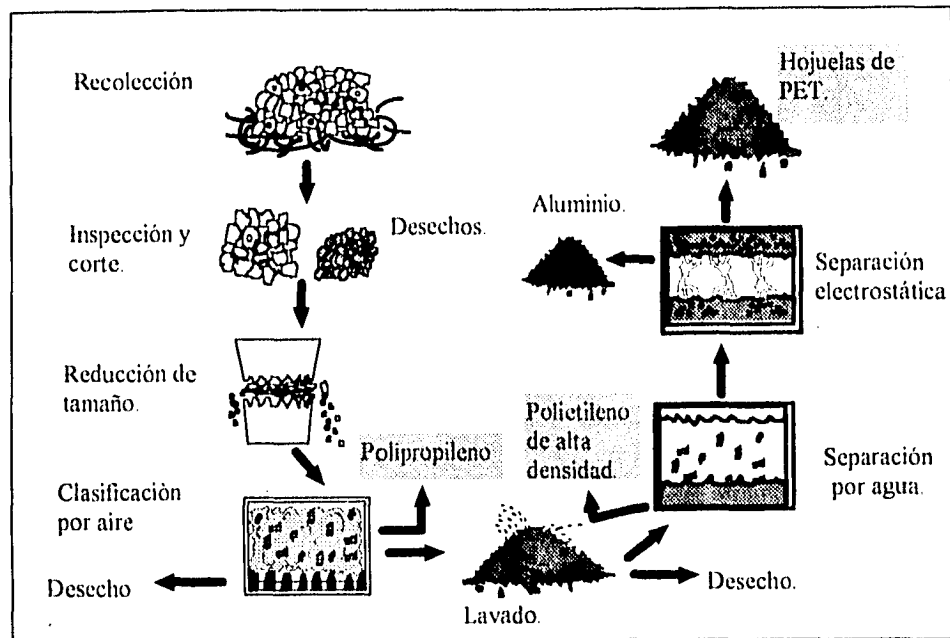


Figura 3.2.2 Separación y preparación de hojuelas de PET reciclado.

Fuente: Eastman Kodak Company, 1992.

Después del lavado el material pasa a través de un clasificador por flotación. En este proceso las hojuelas de PET y otros materiales se hunden mientras que materiales más livianos como HDPE (de las bases de las botellas) y PP (de las tapas y anillos) flotan. Algunas plantas usan equipos denominados hidrociclones para realizar esta operación. El hidrociclón actúa como una centrifuga separando los materiales por su peso. Se trabaja aprovechando la densidad del agua (densidad  $H_2O=1$ ) con aquellas sustancias con densidad menor a 1 (poliolefinas) y mayor a 1 (PET, PVC, PS).

Luego de un secado exhaustivo, primero mecánico y luego térmico, el material que se hundió pasa a través de un separador electrostático. En esta operación, un campo electromagnético separa las partículas remanentes de aluminio si es que existen.

#### Procesos comunes en el reciclado de PET

Una vez completadas estas operaciones se obtienen las hojuelas de PET. La planta de reciclado puede usar este material de diferentes maneras: vendiéndolo en forma de hojuela o pelletizando, dependiendo las necesidades de los usuarios finales que las pueden emplear en un proceso de reciclado químico para mejorar más las propiedades del material, o reprocesando directamente en productos como los descritos en el apartado anterior (fibras para aislación, borras de chamarras, envases termoformados, etc.).

Por ejemplo, para la elaboración de textiles, La empresa Wellman Inc. sigue el proceso que se muestra en la figura 3.2.3 para la elaboración de la fibra Fortrel EcoSpun que se utiliza para elaborar camisetas, cinturones, cobertores, rellenos de chamarras, etc. de la marca Ecofashion.

Una vez preparada la hojuela de PET por medio de un reciclado mecánico, estas son extruídas de una hiladora en forma de regadera, creando fibras de gran resistencia que se tejen y se acomodan según lo que se vaya a producir.

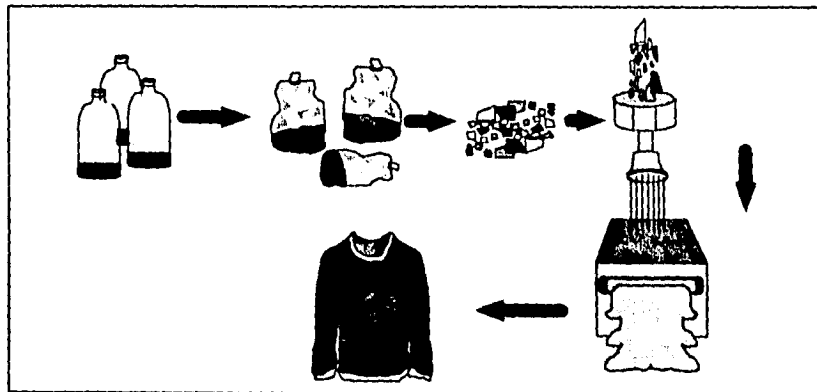


Figura 3.2.3 Proceso de elaboración de fibras textiles a partir de PET reciclado.

Fuente: Wellman Inc., 1993.



### *3.2.2 Reciclado químico (Cerrando el ciclo de reciclado).*

Después de que los contenedores de PET han completado su vida útil como envases para bebidas carbonatadas, agua, enjuagues bucales, aceites comestibles y otros productos de consumo masivo, son recolectados para ser reciclados. Los envases van a través de una molienda, lavado y varios métodos de separación para producir hojuelas limpias de PET mediante un reciclado mecánico.

Para algunos usos como alfombras o fibras de relleno, el PET es utilizado en forma de hojuelas por lo que el proceso termina aquí; sin embargo, para otras aplicaciones el PET debe continuar su proceso de reciclado por medios químicos.

Cerrar el ciclo del reciclado significa que se pueden obtener las materias primas de las cuales fue producido originalmente. Debido a que el PET es hecho por una reacción de policondensación, el proceso puede ser revertido, esto quiere decir que mediante este tipo de reciclado el PET se puede emplear en un número indefinido de ocasiones sin pérdida de sus propiedades, inclusive para envase de productos de consumo humano como se hace actualmente en los Estados Unidos, Australia y otros países. En la actualidad tres compañías miembros de NAPCOR han recibido cartas de “no objeción” de la FDA para sus procesos de reciclado químico.

De los procesos para reciclar el PET, sin duda el reciclado químico es el que ha provocado la revolución en la industria del envase, sus características hacen que este material no tenga competencia en sus aplicaciones. Esto no es obra de magia o de algún truco de los productores, es el resultado de muchos años de esfuerzo y avances técnicos, desde antes de la inicial comercialización del PET grado botella.

Por sus características el PET es producido en uno de dos procesos generales, de una directa esterificación-condensación usando etilenglicol (EG) y ácido tereftálico (AT) ó de una reacción de transesterificación-condensación usando EG y dimetil tereftalato (DMT). De acuerdo con su estructura el PET es único dentro de los polímeros de poliéster comparado con otras resinas de empaque.

Al producir PET por medio de una reacción de policondensación el proceso es reversible, de manera que haciendo una analogía con un cierre, a la estructura del PET se le puede abrir y cerrar cuantas veces se desee de la posición que sea.

Por lo anterior se presenta un estudio realizado por la Beverage Industry de EU en diciembre de 1991, en donde se comparan los tres procesos existentes del reciclado químico, a saber: metanólisis, hidrólisis y glicólisis

### *Metanólisis*

En la metanólisis la cadena del poliéster es particionada en sus monómeros individuales. Para lograr esto se agrega metanol a las hojuelas de PETPC a una presión y temperatura altas para romper el polímero en sus componentes originales: DMT y EG. Estos productos son purificados y luego mezclados con más DMT y EG vírgenes para ser luego repolimerizados. El material así obtenido es totalmente idéntico al producido con las materias primas vírgenes. La metanólisis puede remover todas las impurezas y colorantes.

La rentabilidad de este proceso se estudiará a detalle en el capítulo 5; mientras tanto, cabe decir que tiene la gran ventaja de que se puede procesar material de baja calidad, es decir hojuelas de PET con mezclas de color ó contaminadas con papel, pegamento, tinta, etc., sin comprometer la calidad del reciclado. Pero sin duda la mayor ventaja de la metanólisis es que se puede reutilizar al PET en un número indefinido de veces. En teoría no hay límite para el número de veces que puede ser reciclada una botella.

El progreso que se tiene en el desarrollo del proceso es muy alentador, hasta 1992 dos productores Hoechst Celanese y Eastman Chemicals estaban utilizando con éxito la metanólisis a escala comercial para reciclar PET, en un inicio ambas compañías tienen carta de "no-objeción" de la FDA y están participando activamente en la manufactura de botellas de PET con un contenido del 25% de material reciclado.

El potencial de crecimiento para el reciclado del PET por medio de metanólisis es muy prometedor, con las dos cartas de "no objeción" de la FDA obtenidas por dos de los principales productores de la resina, el camino se encuentra limpio de problemas para comercializar al PET reciclado.

#### Reciclado de la resina PET post-consumo

Sin embargo, es necesario reducir los costos de operación de los procesos, de lo contrario las políticas ambientales de las compañías interesadas cederán ante costos de producción mayores que los de resina virgen. Un ejemplo de lo anterior se dio en las empresas Hoechst-Celanese/Coca-Cola y Shell-Pepsi Co. donde los costos de producción de la resina repolimerizada por metanólisis se elevaron hasta en un 25 % durante los primeros 2 años de operación.

#### *Hidrólisis.*

Por definición la hidrólisis es la total depolimerización del polímero por medio de agua, ácidos, sosa cáustica o hidróxido de amonio.

Aunque aparentemente la rentabilidad del proceso es mayor que la de la glicólisis, la desventaja es que en la hidrólisis se requiere que la alimentación de las escamas de PET se realice por color y totalmente libre de otro tipo de contaminantes, lo que trae como resultado un costo mayor en la obtención de la materia prima y si bien el costo de operación es menor, se requieren hacer más gastos en la limpieza de las hojuelas.

Hasta el momento no existen productores que realicen el proceso de manera comercial debido a la dificultad para purificar el TPA resultante de las otras sales que se generan en el proceso, por lo tanto, todavía esta en estudio su aprobación por la FDA como un método para reciclar el PET.

Por lo anterior su potencial de desarrollo comercial no es muy bueno y probablemente permanezca a nivel académico, además de que existen alternativas más eficientes para cerrar el ciclo del reciclado.

#### *Glicólisis.*

El proceso de glicólisis particiona la molécula de PET por calentamiento de las hojuelas con EG a presión en varios pequeños fragmentos de bajo peso molecular llamados oligómeros. Estos fragmentos (oligómeros) son luego mezclados con otros oligómeros vírgenes y repolimerizados para producir pellets de PET con 25% de contenido de PET reciclado. El proceso completo expone al PET a altas temperaturas y condiciones de vacío para la remoción de los posibles contaminantes.

Shell (Goodyear) estableció en 1991 junto con Pepsi Co. una coinversión para producir resina por este proceso a la cual le han puesto el nombre comercial de REPETE.

Con este proceso, únicamente se separan de forma parcial las cadenas de PET y se produce una mezcla que es difícil de purificar, además, este material debe ser mezclado con resina virgen para producir una resina de calidad aceptable.

El potencial comercial de la glicólisis es bueno. De acuerdo con algunos observadores de la industria del envase; se tiene catalogada a la glicólisis como una versión incompleta de la metanólisis, es decir, viendo al proceso de reciclado como un cierre, éste no se tiene que abrir totalmente como en el caso de la metanólisis para obtener resultados. Para el REPETE de Goodyear, el cierre no debe estar necesariamente abierto en su totalidad. La gran variable para que el REPETE tenga éxito a nivel comercial es la misma que para todos los esfuerzos de reciclado, se tiene que lograr que la recolección del material sea de la forma más limpia posible.

El desarrollo para el reciclado de PET va a continuar, no hay duda que el mercado necesitará cada vez más hojuelas de PET, las compañías manufactureras de envases están haciendo esfuerzos por desarrollar cada vez más envases que utilicen PET como materia prima, lo que pondrá más hojuelas disponibles en el mercado y se convertirá en una oportunidad para las empresas de reciclado mecánico.

### *3.2.3 Problemas comunes en el reciclado de PET.*

Como ya hemos mencionado, el proceso de reciclado mecánico depende de las condiciones de limpieza y clasificación del PET recolectado, obviamente se busca la mejor calidad al menor costo.

#### Reciclado de la resina PET post-consumo

La tendencia en la producción de PET reciclado es equilibrar la calidad de la resina virgen tanto como sea posible, ya que la competencia se da no sólo con otros materiales sino con la misma resina virgen, como lo señala Robert Leaversuch<sup>2</sup> "Los recicladores europeos, norteamericanos y japoneses han tenido que sobrevivir en los últimos meses debido al costo tan bajo que se ha alcanzado en la producción de resina virgen, y a que su uso representa menos problemas para los productores de botellas y artículos hechos a base de PET".

A largo plazo, esta competencia no podrá ser resuelta en favor del reciclado, a menos que los criterios de calidad sean homologados y los costos de producción, incluidos todos los aspectos ambientales sean iguales ó menores que la resina virgen.

Sin embargo y en la misma línea, la empresa Wellman Inc. reporta ventas netas de 842 millones USD<sup>3</sup>, demostrando que no sólo sobrevive como recicladora de PET sino que prospera de manera importante (Wellman es la empresa recicladora de PET más importante a nivel mundial).

Esto último se debe a que según Dennis Sabourin (vicepresidente de la Compañía) existen 4 factores que hacen del reciclado un negocio con futuro:

- 1) Los rellenos sanitarios resultan más costosos a largo plazo y están entrando en desuso.
- 2) Tiene que ver con la conservación de los recursos combustibles, pero esta es una variable que cambia con frecuencia, si hacemos una retrospectiva, a finales de los años 80's el costo de la resina plástica era muy alto y actualmente no lo es.
- 3) En el mercado mundial, no se tiene un control de los recursos energéticos y las materias primas, por lo que la disponibilidad de estos es muy variable.
- 4) El último principio que menciona el vicepresidente de Wellman Inc. tiene que ver con la responsabilidad ambiental que todos debemos asumir.

---

<sup>2</sup> Modern Plastics, Julio 1994

<sup>3</sup> Fuente: Recycling Today, agosto de 1994.

Cualquier proceso de reciclado que se utilice para el PETPC debe ser capaz de remover los contaminantes potenciales que pueden estar presentes. Por ejemplo, para la producción de la resina REPETE de Goodyear (nombre comercial que da esta compañía a la resina reciclada mediante el proceso de Glicólisis) se han determinado 4 principales fuentes de contaminación en el proceso<sup>4</sup>: Contaminación microbiológica, Materiales extraños, Plásticos diferentes al PET, y Contaminación debido al mal uso de los consumidores.

La contaminación microbiológica puede ser resultado de un lavado incompleto de las botellas. El lavado cáustico ayuda a eliminar este problema.

Los tipos de materiales extraños que pueden ser encontrados en el PETPC incluyen vidrio, madera, aluminio y fibras (de papel, cartón, etc.). Estos materiales son removidos con mayor eficiencia durante la clasificación y limpieza iniciales.

Los plásticos diferentes al PET pueden ser separados en la primera etapa del reciclado. Esto se hace utilizando separación por densidad, con agua como medio para lograrlo. El único plástico que no es efectivamente removido por este medio es el PVC, debido a su densidad similar a la del PET.

Los contaminantes que los consumidores generan debido al mal uso que se les da a las botellas incluyen: gasolina, aceite de motor, petróleo, y pesticidas. Estos contaminantes sólo pueden ser removidos por una profunda operación de lavado durante el proceso de producción de las hojuelas de PETPC.

El proceso de glicólisis-repolimerización usado por Goodyear (ahora Shell) en la elaboración de REPETE en combinación con un buen proceso de reciclado mecánico, ha sido un camino efectivo para resolver los problemas arriba mencionados.

Una planta de reciclado mecánico estándar se enfrenta a problemas durante el proceso como los que se mencionan a continuación:

---

<sup>4</sup> Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992.

#### Reciclado de la resina PET post-consumo

Durante la flotación tanto el HDPE como el PP flotan mientras que el PET y el PVC se hunden, la tapa y el aro de tapa, que son de PP, flotan y son removidos. De cualquier manera, productos como las juntas de las tapas y los sellos de seguridad de las medicinas (ambos de PVC) se hunden y permanecen junto a las hojuelas de PET.

En este sentido, se deben aumentar los esfuerzos para diseñar envases hechos completamente de un sólo material o incentivar a los consumidores a separar la tapa y el aro.

Un alto valor de mercado para el PETPC depende de producir una buena provisión de hojuelas limpias y pequeñas cantidades de PVC son difíciles de detectar una vez producidas las hojuelas. Actualmente hay sólo una planta comercial (Goodyear) que es capaz de separar PET y PVC en hojuelas y ha entrado en operación recientemente.

Separar el aluminio de las botellas PET puede ser muy caro. Algunas de las hojuelas valiosas de PET son inevitablemente removidas durante el proceso de separación para asegurar que la hojuela final de PET limpio contenga sólo una mínima cantidad de aluminio.

Otra preocupación es que el HDPE y PP juntos, una vez separados del PET son muy difíciles de separar entre sí y son menos valiosos que un embarque que contenga sólo HDPE.

Por esta y otras razones, la mejor y más efectiva manera de asegurar la limpieza del PET post-consumo es educar y motivar económicamente a los consumidores para que separen las tapas y cubiertas así como el resto de los contaminantes antes de enviar la botella para ser reciclada.

### 3.2.4 Proceso Multicapas<sup>1</sup> ("Sandwich Bottles").

Continental PET Technologies en EU y ACI Petalite en Australia han desarrollado el proceso para fabricar botellas de PET en varias capas utilizando material reciclado de post-consumo en cierto tipo de empaques de alimentos. Este PETPC no requiere de repolimerización por que queda encapsulado con material virgen. En la actualidad, las hojuelas producidas por reciclado mecánico son las que se utilizan en este proceso.

Desde hace años el PETPC se ha utilizado directamente o mezclado para fabricar envases de productos que no son de consumo humano, por ejemplo detergentes, plaguicidas, pelotas de tenis, etc. Por otro lado, Continental PET Technologies ha fabricado contenedores de PET para las compañías Coca-Cola y Pepsi-Co.; reconociendo la necesidad de una mejoría en la barrera de oxígeno para ciertos productos comestibles (salsa catsup y jugos), esta empresa ha buscado mejorías en las tecnologías de barrera (desde capas externas hasta la modificación de la estructura del polímero). En 1982, la necesidad de soluciones comerciales viables hizo a sus investigadores concebir y desarrollar la inyección de múltiples materiales, proceso conocido ahora como LamipET.

El proceso produce una preforma en la cual se emplea PETPC en cantidades de hasta un 45 % en peso que queda entre 2 capas de PET virgen, de las cuales una es la de contacto con el producto y la otra queda en contacto con el medio ambiente, esto da la protección necesaria contra la penetración de contaminantes (figura 3.2.4).

Para hacer de 2 materiales una estructura de 3 capas, CPT primero inyecta 50% de PET virgen en cada cavidad, esto es seguido por la introducción de PETPC para completar el proceso de llenado de las cavidades, entonces las maquinas regresan al extrusor de resina virgen para mantener la presión de fundido durante la fase de enfriamiento del ciclo y entonces limpiar la región de la punta de la manguera del extrusor de PETPC y así poder iniciar el ciclo de inyección siguiente.

---

<sup>1</sup> Fuente: BRT Technology Review, Octubre de 1993 e Ing. Santiago García, APREPET México, 1995.



#### Reciclado de la resina PET post-consumo

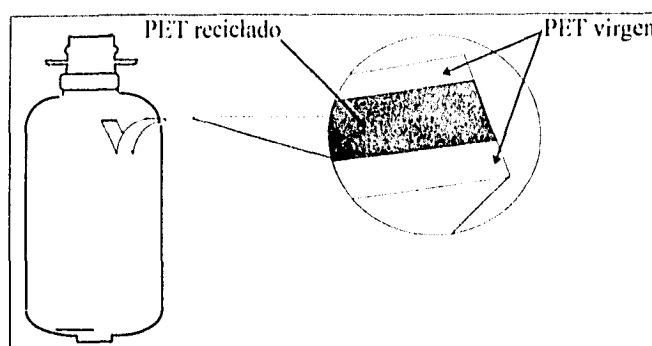


Figura 3.2.4 Envase hecho mediante el proceso multicapas ("Sandwich Bottles").

Fuente: BRT Technology Review, Octubre de 1993.

El sistema multicapas desarrollado por las empresas mencionadas anteriormente, recibió en mayo de 1993 "luz verde" por parte de las autoridades sanitarias en EU y Australia para la producción de botellas de bebidas carbonatadas llenadas en frío. En ese mismo año, se puso en operación en Australia la primera operación comercial para Coca-Cola. Actualmente todas las botellas de esta empresa en Australia y Nueva Zelanda son fabricadas con este sistema. En 1994 la FDA dio autorización similar para envases de bebidas llenadas a alta temperatura (jugos) y en ese año esta autoridad sanitaria dio carta de "No-Objeción" a Johnson Controls para utilizar resina PETPC reciclada por un proceso secreto (Proceso Ultraclean-Johnson Controls) para la producción de envases de bebidas de consumo humano

La FDA en EU aprobó lo anterior después de hacer pruebas de laboratorio a los contenedores de 3 capas. Durante las pruebas, la capa intermedia de material reciclado fue intencionalmente atacada con varios tipos de contaminantes a niveles significativamente más altos de lo que podría esperarse en condiciones normales de uso.

Los contenedores fueron entonces llenados con el producto y sometidos a pruebas de extracción realizadas por laboratorios independientes. Los resultados obtenidos demuestran que las capas circundantes de material virgen fueron una barrera efectiva en la infiltración de cualquier contaminante que podría haber sobrevivido al proceso de reciclado.

Se dice que el reciclado esta en función de un alto volumen en el mercado de uso final. El sistema de multicapas puede ayudar a garantizar ese mercado de uso final, además, con este proceso se ayuda en cierta forma a cerrar el ciclo de la resina con lo que se reduce la cantidad de desechos sólidos producidos.

Como podemos observar, el mercado de PET reciclado esta creciendo aceleradamente debido al bajo costo en su producción, y a que los productos fabricados con PETPC son muchos y pueden venderse a precios competitivos respecto a otros similares fabricados con otros materiales, lo anterior impulsado por la legislación existente en favor del reciclado de este material como en el caso de los Estados Unidos.

### ***3.3 Propiedades de las hojuelas de PETPC.***

El reuso del PETPC implica un importante número de consideraciones en las cuales se incluye la recolección, limpieza, separación de materiales diferentes al PET, y reprocesamiento. En todos los pasos del proceso de reciclado la llave del éxito esta en la pureza y en tener la seguridad de que las propiedades del producto final realmente sean las adecuadas para el uso que se le de al producto. Por lo tanto el conocimiento de estas propiedades (físicas y químicas) así como su variación con respecto a las de la resina virgen constituyen un aspecto muy importante para lograr que el mercado para este material crezca.

Los pasos que se tienen que seguir para obtener los mayores beneficios del reciclado de PETPC incluyen una pre-limpieza y preparación de las botellas, para pasar a una limpieza final y aseguramiento de calidad.

La mayor demanda en propiedades de alta calidad de las hojuelas se da en los procesos para cerrar el ciclo de reciclado (metanólisis, glicólisis e hidrólisis), de los cuales, en la glicólisis se tiene un buen ejemplo de los más estrictos controles de calidad; en este sentido, los estudios realizados por Goodyear (ahora Shell) para desarrollar el REPETE (resina con un 25 % de PETPC) son presentados en los siguientes párrafos.

Goodyear somete las hojuelas a una prueba que mide niveles de Aluminio, HDPE, PP, PVC, papel, madera, y PET verde, para asegurar las propiedades finales para el REPETE. Las especificaciones de Goodyear son las siguientes (tabla 3.3.1).

CONTAMINANTE	MÁXIMA CONCENTRACIÓN POR PESO
Agua	1%
PET verde	1000 ppm <sup>2</sup>
EVA <sup>1</sup>	10 ppm
HDPE, PP	20 ppm
Aluminio	1 ppm
PVC	ninguna

<sup>1</sup> Etileno-vinilacetato

<sup>2</sup> partes por millón

Tabla 3.3.1 Especificaciones de Goodyear para las hojuelas de PETPC.

Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992.

La flexibilidad en las especificaciones para la materia prima del PETPC está ligada a la eficiencia que tenga el sistema para reciclar el material, es decir, se acepta materia prima contaminada en cierto grado dependiendo de la facilidad del sistema para reprocesarla, por ejemplo, las especificaciones para la hojuela usada para preparar REPETE están sujetas a la efectividad del sistema de reprocesamiento de Goodyear para su optimación.

De los mayores retos asociados con la incorporación del PETPC a su comercialización es su natural heterogeneidad química; esta heterogeneidad se debe a los diferentes procesos utilizados para producir PET virgen: la directa esterificación del ácido tereftálico (TPA) con etilén glicol (EG) y la transesterificación del dimetil tereftalato (DMT) con EG seguido de una policondensación (capítulo 2).

Mientras ambos procedimientos producen el mismo polímero básico, existen variaciones en el monto y tipo de los metales catalizadores usados en el proceso de producción de la resina virgen, lo que ocasiona una mezcla de dichos materiales en el proceso de reciclado para el PETPC. La tabla 3.3.2 muestra los metales presentes y su probable función en una muestra representativa de PETPC. Los datos técnicos sirven al usuario final para tener en cuenta los niveles adecuados de sales en el proceso.

Propiedades de las hojuelas de PET reciclado

METAL	CONCENTRACIÓN (ppm)	FUNCIÓN
Sb (Antimonio)	220-240	Policondensación
Co (Cobalto)	50-100	Policondensación
P (Fósforo)	6-110	Estabilizador
Mn (Manganeso)	20-60	Transtereftilación
Ti (Titanio)	0-80	Policondensación
Fe (Hierro)	0-6	Introducido durante el lavado
Na, Mg, Si	Trazas	Varias

Tabla 3.5.2 Catalizadores y aditivos encontrados en una muestra de PET post-consumo.

Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992.

Un segundo origen de la heterogeneidad química viene de otros monómeros que son adicionados para modificar las propiedades del PET para usos especiales ó específicos<sup>2</sup>, como la temperatura de fusión ( $T_m$ ) que en el PET es de 260 °C, la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), que para el PET virgen es de 81 °C y se da cuando se reblandece el material y se relajan los esfuerzos de la resina y por último, la temperatura de cristalización ( $T_c$ ) que es aquella en la cual las cadenas poliméricas se agrupan en un proceso isotérmico y que para el PET virgen es de 150 °C.

Una tercera fuente de heterogeneidad en el PETPC resulta de los materiales que no son poliéster, los cuales son encontrados frecuentemente durante el proceso de reciclado.

En el reciclado mecánico, debido a que el PETPC debe ser inyectado para elaborar artículos de uso final, su viscosidad intrínseca debe ser baja (bajo peso molecular), por lo tanto ésta disminuye de 0.8 dl/g (decilitros por gramo) en el PET virgen hasta 0.7 dl/g lo cual repercute en una disminución de las propiedades mecánicas de la resina reciclada.

Además, otro factor que disminuye las propiedades mecánicas del PETPC es la humedad que aumenta durante el proceso de reciclado. Se utilizan grandes cantidades de energía en el secado y operación del proceso ya que hay que eliminar los residuos de H<sub>2</sub>O hasta llegar a 50 ppm o de lo contrario se provocaría una degradación por presencia de humedad.

<sup>2</sup>Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992

Reciclado de la resina PET post-consumo

*Propiedades físicas y químicas de la resina reciclada<sup>3</sup>.*

La tabla siguiente muestra las propiedades físicas del PETPC comparadas con las del PET virgen y preparadas bajo las mismas condiciones.

PROPIEDAD	Contenido de PETPC		
	0%	10%	20%
VI <sup>1</sup> (dl/g)	0.62	0.61	0.60
Color h (Brillo)	-0.8	2.6	4.1
Temperatura de fusión (°C)	254	253	253
COOH <sup>2</sup> (eq/10 <sup>6</sup> g)	41.1	32.0	25.9

<sup>1</sup>Viscosidad intrínseca en decilitros por gramo      <sup>2</sup>grupo carboxilo, equivalentes por 10<sup>6</sup> gr.

Tabla 3.5.5 Variación de las propiedades físicas empleando un porcentaje diferente de PETPC.

Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992.

Estos datos sugieren que los polímeros de PET que contienen hasta un 20% de PETPC tienen propiedades equivalentes a las del control. La transparencia y brillo de los contenedores de PETPC son mayores que las del control, esto puede ser atribuido a la historia térmica adicional experimentada por el PETPC.

Las propiedades físicas y químicas de la resina REPETE fueron investigadas y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

PROPIEDAD	0%	10%	20%
VI (dl/g)	0.84	0.88	0.87
Color h (Brillo)	1.7	2.2	1.8
Temperatura (°C)	254	253	253
COOH (eq/10 <sup>6</sup> g)	1.22	1.39	1.63
<b>Metales (ppm)</b>			
Sb	208	196	222
Co	18	23	33
Mn	ND <sup>1</sup>	ND	7
P	10	16	35

<sup>1</sup> ND = No Detectado.

Tabla 3.5.6 Propiedades físicas y composición química de una muestra de PET sólido con variaciones en el contenido de PETPC.

Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992.

<sup>3</sup> Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992

Los datos de las tablas anteriores son los de la primera generación de la resina REPETE. En este sentido, la optimización del proceso ha dado como resultado un mejoramiento en las propiedades, especialmente en la transparencia y brillo del producto final. Polímeros con un rango de transparencia y brillo de -0.6 a 0.4 son ahora rutinariamente obtenidos con un nivel de 25% PETPC. Estos valores son adecuados para las especificaciones comerciales del PET virgen que utiliza Goodyear en la elaboración de productos análogos.

Por último, podemos decir que el PET virgen modificado mediante los procesos de glicólisis/repolimerización hasta con un 20% de PETPC produce un polímero con cambios no tan significativos en sus propiedades físicas comparado con el PET 100% virgen. Los constituyentes químicos del PETPC son uniformemente distribuidos e incorporados dentro de la estructura del PET virgen. La historia térmica adicional experimentada por el PETPC da un incremento ligero en color de los productos de la primera generación. La tecnología antes descrita es usada por Shell (Goodyear) para preparar resina REPETE que es usada para fabricar contenedores de ambos tipos: envases para productos de consumo humano y envases en general.

### **3.6 Tendencias en el reciclado de PET.**

#### *Lavado completo de las botellas. - Una alternativa a las hojuelas -*

Una reciente alternativa al lavado de las hojuelas, método descrito anteriormente, es el lavado completo de las botellas como método de limpieza y clasificación del uso post-consumo de envases de PET.

El proceso automático lava ambos tipos de botellas para bebidas gaseosas, las retornables y las no retornables así como también los envases para otros usos. Como la clasificación es posterior al proceso inicial de limpieza y además porque la remoción de las bases, tapas y etiquetas es realizada antes de la molienda, este método es exitoso pues da respuesta a la preocupación sobre cierto tipo de contaminantes. Como lo explica un productor "es más fácil remover cantidades de contaminantes en la forma de botellas que luego que fue molido en hojuelas".

#### Reciclado de la resina PET post-consumo

La FDA recientemente indicó su “No Objeción” al uso de 100% PET reciclado de post-consumo en la producción de envases por Ultra Pac, Inc de Minnesota EU; esta empresa produce y comercializa envases principalmente para la industria alimenticia.

#### Sistemas automáticos de reciclado<sup>4</sup>.

El sistema modular de clasificación desarrollado por la empresa estadounidense Magnetic Separation System es capaz de clasificar un gran volumen de botellas de plástico de todo tipo a razón de 3 botellas por segundo ó 675 kg/hr (1500 lb/hr). Diseñado para clasificar botellas compactas, “Poly-sort” emplea transportadores para clasificar y separar los plásticos y 2 mecanismos para la identificación de color y composición química. El transportador de lectura lleva las botellas hasta un sensor ultrasónico que detecta su posición. Un sistema infrarrojo determina el tipo de resina de que se trata, una cámara determina el color del recipiente y una computadora integra los datos y hace una identificación para que un chorro neumático envíe las botellas a la banda transportadora adecuada para su posterior reciclado.

Las bandas vibratoria y de lectura son modulares y pueden ser modificadas de acuerdo a los requerimientos. El sistema de detección de color usa una pequeña cámara que puede detectar hasta 16 millones de espectros diferentes de color por digitalización de señales.

El sistema infrarrojo de Automated Industrial Control (AIC) puede identificar el tipo de resina en menos de 19 milisegundos; este sistema puede ser programado para buscar “a través” del plástico; entonces, cuando los contenedores crean una señal falsa automáticamente se rechazan.

El sistema puede ser también usado para identificar botellas de multicapas. Por ejemplo, la capa de barrera en la botella de salsa catsup puede generar una señal específica y ser separada.

---

<sup>4</sup> Fuente: Modern Plastics, Noviembre de 1993

El sistema está basado en la "clasificación positiva", es decir, si la identificación positiva de la botella no puede hacerse, ésta no es separada y entonces viaja a través de la banda rumbo a la sección de plásticos diversos. Con este tipo de mecanismos se prevé la contaminación de las resinas que van a reciclarse.

El sistema de clasificación de Magnetic Separation System (MSS) incorpora 4 líneas de clasificación paralelas, alcanzando una capacidad en el proceso de 2250 kg/hr (5000 lb/hr) e identifica y separa de 8 a 12 envases por segundo. La base del sistema clasifica mezclas de botellas de plástico en 3 clases: HDPE y PP no pigmentado, PET y PVC, y mezclas de color de HDPE.

En general, el funcionamiento del sistema es similar a los descritos anteriormente, sólo que en el sistema de MSS la variedad y el volumen de plásticos que pueden ser clasificados es mayor.

A continuación se muestra un sistema típico de clasificación automática de plásticos que se encuentra ya a nivel industrial en EU y Europa:

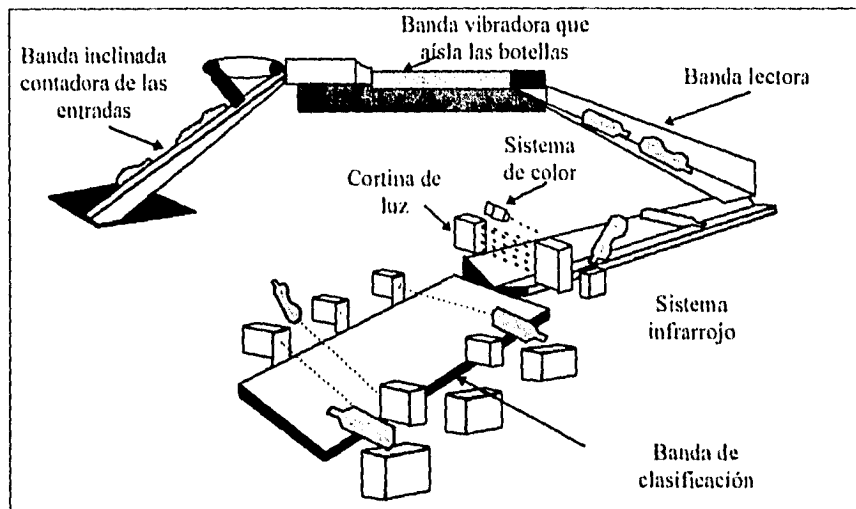


Figura 3.6.1 Sistema típico de clasificación automática de plásticos  
Fuente: Modern Plastics, Noviembre de 1993



Reciclado de la resina PET post-consumo

La siguiente figura es lo que se considera el "estado del arte" del reciclado mecánico y por esta razón, este proceso sólo lo tienen implementado muy pocas empresas en el mundo.

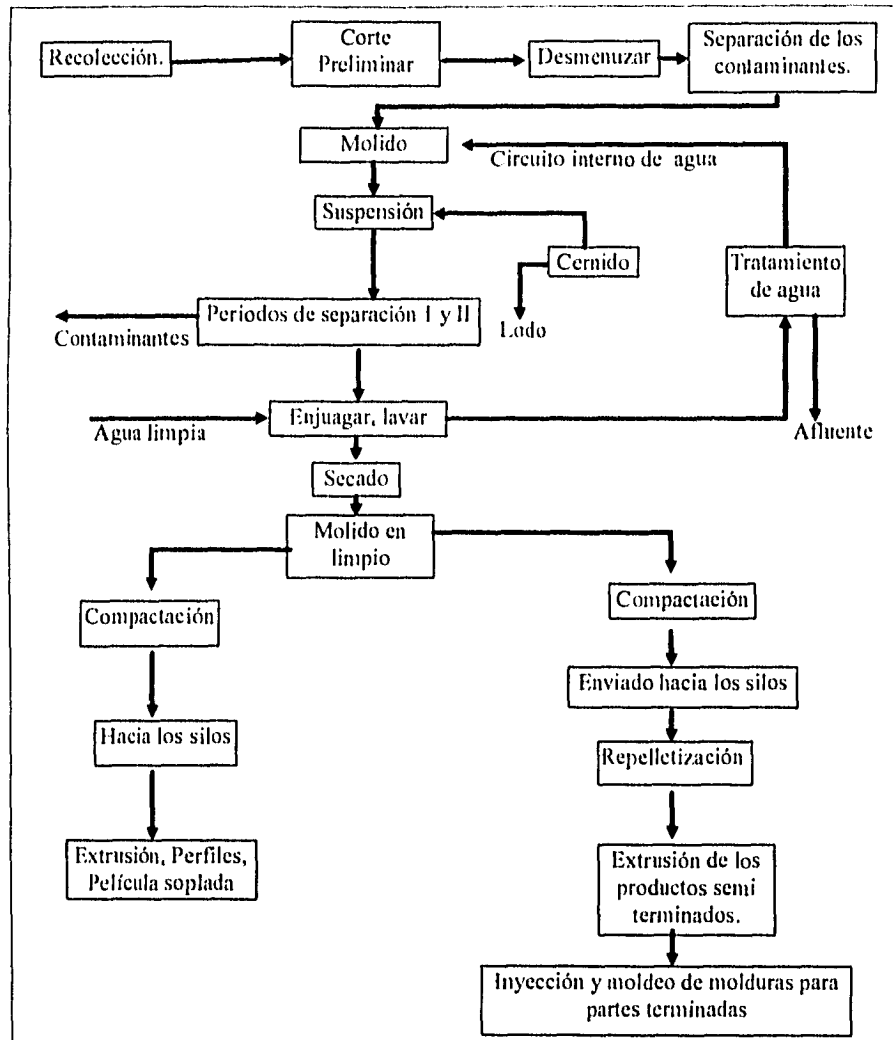


Figura 3.4.1 Proceso de reciclado mecánico de la resina PET (tendencias).

Fuente: German Machinery & Plant Manufacturers Association, Julio 1994.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Tendencias en el reciclado de PET

*Tendencias de mercado.*

A pesar de que la resina virgen ya compite con la reciclada, los expertos ven distintas tendencias en el mercado que justifican el optimismo<sup>5</sup>:

- a) El reciclado se esta integrando continuamente en los países en desarrollo y esto se hace ahora más por motivos económicos que por motivos ecológicos.
- b) La demanda de PET esta creciendo en Europa.
- c) Algunos nichos de mercado ofrecen un potencial enorme a pesar de las adversidades económicas.
- d) La mayoría de las resinas de ingeniería pueden reciclarse en los países desarrollados.
- e) Las compañías recicladoras están dispuestas a adaptarse e innovar en cuanto a mercados viables.

Los recicladores en Europa están aumentando la capacidad en sus plantas y han organizado una asociación de comercio llamada "Petcore Haroldgate, UK" con la finalidad de recolectar la materia prima.

En EU, la compañía Colgate Palmolive, usa botellas de PET para el empaqueo de algunos de sus productos. La compañía pone de 50 a 75% de material reciclado en las botellas de sus principales productos.

Como consecuencia de la tecnología de multicapas, se tendrá en el corto plazo un impacto en el índice de reciclado en Australia. Esto genera la expectativa a mediano plazo de duplicar el índice de recolección y reciclado de PET en ese país, además de que existen muchos proyectos en el mundo de conversión a este sistema en proceso.

---

<sup>5</sup> Fuente: Modern Plastics, Noviembre de 1993.

1999-07-23  
11:00 AM

#### Reciclado de la resina PET post-consumo

Se empieza a vislumbrar un fuerte enfrentamiento entre resinas por el mercado de las botellas ya que próximamente el PET no será el único líder en este mercado, el Naftalato de Polietileno (PEN) comienza a cobrar importancia.

En muchas áreas el PEN es superior al PET<sup>6</sup>, en el caso de la barrera de oxígeno que es de vital importancia para jugos de frutas, cervezas y algunos productos derivados de tomates, el PEN es 6 veces más eficaz que el PET. Otra ventaja es que el PEN tiene mayor resistencia a temperaturas altas, permitiendo el llenado a 98 °C cuando el límite del PET es a 85 °C. Además, el PEN tiene la capacidad de bloquear 100 % los rayos UV, esto es importante para botellas de leche, aceites comestibles y muchos productos farmacéuticos debido a que los rayos UV causan la descomposición acelerada de varias vitaminas.

Sin embargo el desarrollo del PEN será lento debido a factores como la baja producción a nivel mundial y a la gran infraestructura que el PET ha logrado construir a lo largo de casi 20 años de experiencia como material de envase, además de que las propiedades del PET son suficientes para las aplicaciones actuales, pero sobre todo a que según pronósticos, el PEN resultará, por lo menos en los primeros años de producción, a un costo 3 veces mayor que el del PET.

#### *Tendencias de tecnología.*

Eastman Chemical Company continúa su trabajo de desarrollo sobre un "marcador" para la clasificación de los plásticos. Utilizando equipos de bajo costo pero electrónicamente sofisticados, las botellas de gaseosas hechas con PET conteniendo el marcador molecular de Eastman fueron detectadas cada vez que pasaron por el instrumento. Eastman presentó en el año de 1992 una solicitud de patentamiento de esta tecnología de clasificación.

Hoechst-Celanese esta completando su planta de reciclado ultra moderna en Spartanburg, Carolina del Sur, EU. Esta planta utilizará la tecnología más avanzada para reciclar aproximadamente 13500 ton (30 millones de lb) de plásticos anualmente. Además hay que recordar la expansión de Wellman en Europa donde los volúmenes de reciclado crecen día con día.

---

<sup>6</sup> Fuente: La industria del envase, México, julio de 1995.

#### Tendencias en el reciclado de PET

Recoverable Resources/Boro Bronx 2000, Inc (conocida como R2B2) anunció la expansión de su planta recicladora de PET con la instalación de nuevas tecnologías para procesar hasta 3375 ton (7.5 millones de libras) de envases de PET post-consumo anualmente. La nueva tecnología es el resultado de los esfuerzos de investigación y desarrollo realizados por NAPCOR y otras entidades del sector público y privado.

El alza en las perspectivas de reciclado en la próxima década depende del resultado de una rápida reducción de costos en la recolección de la materia prima y el proceso. Se pronostica un cambio de escalas pequeñas y separación-clasificación manual a grandes escalas y métodos automáticos de reciclado, eliminando 10 ¢ de USD/lb en el proceso de reciclado en la próxima década.

Mientras tanto, hay un acuerdo generalizado en que debido a los grandes volúmenes de producción, los precios en las resinas vírgenes disminuirán. Podría decirse que lo anterior puede venir en detrimento del reciclado, sin embargo, las modificaciones a las leyes en cuanto a la incursión de material reciclado a los diferentes productos plásticos en EU y Europa han ayudado a incrementar la demanda de PETPC.

# **ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

## **Capítulo IV. Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo**

### **Objetivo:**

Conocer la problemática para reciclar el PETPC a través de las fuentes de aprovisionamiento a nivel mundial y nacional, y plantear alternativas de solución para el valle de México.



#### ***4.1 Aplicaciones de PETPC susceptibles de reciclarse comercialmente.***

Debido a sus características el PET es empleado en una gran variedad de productos en forma de fibra poliéster, película biorientada, copolímeros y aplicaciones de PET grado ingeniería; sin embargo, la recuperación del PETPC de estos productos se dificulta debido a que a veces se encuentran mezclados con otras resinas y no existe una forma económicamente viable para su recuperación y reciclado; otras veces el volumen de producción que se maneja es muy pequeño y disperso por lo que se descarta su recuperación a nivel industrial.

Por lo anterior en este capítulo se tratará exclusivamente del PET grado envase, el cual se recupera actualmente en varios países para su reciclado, existiendo cerca de 60 aplicaciones comerciales de esta resina reciclada, las más importantes se dan cuando se regresa la cadena molecular a una longitud y consistencia de fibra textil. En EU más del 80 % del PET que se recicla se destina a fibra de algún tipo; por ejemplo, 35 % de las alfombras en este país alguna vez fueron botellas de refresco<sup>1</sup>.

Las principales aplicaciones del PET grado envase se pueden resumir en los siguientes usos:

- Botellas para bebidas carbonatadas.
- Botellas para bebidas isotónicas.
- Botellas rellenables y retornables.
- Botellas para envase de agua mineral.
- Envases para aceite comestible y para agua natural.
- Otros contenedores de bebidas y empaques de productos no comestibles.

Las aplicaciones anteriores son la materia prima para la industria del reciclado en EU y otros países de Europa.

---

<sup>1</sup> Posibilidades y tendencias del reciclado de PET, APREPET, 1995.

#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

El consumo mundial de PET es del orden de 1,900,000 toneladas anuales; tan sólo en los EU se consumen 900,000 toneladas y esta cifra crece a razón de 68 mil a 80 mil toneladas por año. En México se espera un consumo de 180,000 toneladas para 1995 y 236,000 para 1996 sustituyendo al PVC y al vidrio entre otros materiales de envase.

En EU se reciclaba en 1987 el 18 % del PET. Para 1993 se llegó a reciclar una tasa del 33 % en general y hasta un 40 % en botellas de refresco; esto equivale a 166,000 toneladas. El mercado potencial del PET reciclado se estima en 454,000 toneladas para 1997 tan sólo en los EU.

Para poder identificar las fuentes de aprovisionamiento de PETPC provenientes de los residuos de envases y embalajes se hace necesario conocer el ciclo de vida de los envases, el cual se presenta a continuación.

#### *4.2 Ciclo de vida de los envases.*

La vida de los envases se inicia con la adquisición de las materias primas, dependiendo esta del proceso que se llevará a cabo. En la actualidad no solo se emplean materias primas vírgenes, también se utilizan materias primas recicladas provenientes de botellas de refresco que mediante el proceso de metanólisis se recuperan con las mismas propiedades que la resina virgen, cerrando con ello el ciclo de vida de un envase.

La segunda etapa de la vida de los envases es el procesamiento de las materias primas, aquí el PET se obtiene virgen ó con un porcentaje de material reciclado, después pasa a la producción o conversión de envases. Dependiendo de su aplicación y quien sea el productor, se hacen las botellas con una base de diferente resina de la que estaba hecha el cuerpo de la botella y la gran mayoría emplean una tapa de material diferente al PET (polipropileno).

Aquí es donde cobran importancia medidas como reducción de origen y la fabricación de botellas de un solo material, así como el sistema de codificación de botellas para clasificar todos los envases y evitar problemas de contaminación en el reciclado.

Durante la producción de botellas surge la primera fuente de aprovisionamiento para la industria del reciclado: los desechos industriales. Estos surgen a partir de los recortes naturales en la fabricación de botellas que ya no pueden ser reutilizadas ó en fallas en el sistema de producción que provocan que el embotellador deseché los envases retornables que no cumplan con las especificaciones de mercado.

Los desechos industriales proporcionan el material de mayor calidad para el proceso de reciclado ya que generalmente están libres de toda contaminación y se encuentran clasificados por color, además de que se conoce su composición química. En México estas son las principales fuentes de materia prima para los recicladores de PET.

Una vez producido el envase pasa al llenado y etiquetado, se le agrega la tapa, pegamentos, pigmentos y etiquetas para su comercialización, que después para los diferentes procesos de reciclado necesitan ser removidos, lo que aumenta los costos del mismo.

Finalmente, las botellas llegan al consumidor por medio de la distribución y venta, aquí el envase se mezcla con los demás productos adquiridos y una vez consumido el producto, el envase se convierte en un residuo, por lo que la última etapa en la vida de los envases es el Manejo de los Residuos que puede ser de las siguientes formas:

- 1) Reducción de origen. Disminuyendo la cantidad de material que se convierte en desechos por medio de envases más ligeros. Esta es la principal preocupación de los productores de envase debido a que de esta forma disminuyen sus costos de producción. Por ejemplo, en muchos empaques para alimentos, el PET puede sustituir a otros materiales hasta en una relación de 3 a 1. Los productores de envases de PET han hecho grandes reducciones en el peso; las botellas de refresco hoy pesan 25 % menos que las introducidas en 1976.
- 2) Reutilización. Empleando botellas rellenables o reutilizables como en el caso de las bebidas carbonatadas. Esto se realiza a nivel mundial estableciendo programas de depósito obligatorio. Desde 1987 se introdujo la botella de PET reusable para refresco. Una gran alternativa a otros contenedores reusables, debido a que proporciona ventajas adicionales de resistencia a la rotura, y reducción de peso con el consecuente ahorro de energía.



#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

- 3) Reciclaje. Por medio del procesamiento de los desechos y en la manufactura de nuevos bienes o bienes sustitutos empleando materiales reciclables, esta es una alternativa muy atractiva para materiales como el aluminio y el PET considerando la facilidad de recolección, el manejo de grandes volúmenes y la gran variedad de opciones. Lo anterior, hace que el PET sea el material plástico más reciclado, segundo solo detrás del aluminio en los EU.
- 4) Incineración con recuperación de energía. Aproximadamente un 10 % de los desechos sólidos son incinerados en los EU. En Europa esta cantidad crece al 30%. De las 336,000 toneladas de PET que se ocupan en la producción de botellas de refresco, aproximadamente un 8 % son incineradas. Esta cantidad tiende a crecer por el alto poder calorífico del PET (similar al carbón). La incineración con recuperación de energía puede ser una alternativa para los envases que se encuentren muy contaminados y que por lo mismo no son factibles de reciclarse.
- 5) Disposición en rellenos sanitarios. El PET es un material relativamente inerte, resistente a la descomposición, y no contiene materiales nocivos que podrían llegar a los mantos acuíferos subterráneos. En México esta es la principal forma de disponer de los residuos sólidos, por lo que es inevitable que parte del volumen de PET llegue a los rellenos sanitarios, a menos que se incremente la conciencia pública y se establezcan programas de reciclado. Mientras tanto el PET por ser inerte es preferible a otros materiales en los rellenos sanitarios, aunque represente estar tirando a la basura un buen negocio como lo es el PETPC.

Un envase se considera materia prima para la industria del reciclado cuando se encuentra en una de las siguientes formas: como desecho industrial y como residuo de los consumidores finales. Estas formas se estudiarán a detalle en el siguiente apartado.

A continuación se presenta la figura 4.1.1 que muestra el ciclo completo de los envases, desde su producción hasta el manejo de los residuos.

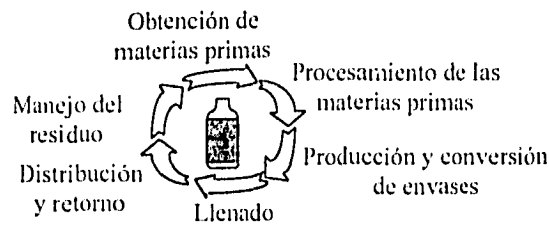


Figura 4.2.1 Ciclo de vida de los envases.

Fuente: Manejo y reciclaje de los residuos sólidos de envases y embalajes, Sedesol INE 1993.

### 4.3 Fuentes de aprovisionamiento de PETPC.

Los residuos industriales y los envases vistos como un desecho por el consumidor son la materia prima en los programas de reciclado; es aquí donde se debe separar y clasificar al PET para después poder comercializarlo antes de que llegue al flujo de los residuos sólidos.

Debido a que entra al mercado de los plásticos de desecho para competir con las mismas reglas que los otros productos o materiales, es necesario recuperar el PET de la forma más limpia posible para poder obtener los mayores beneficios, es decir, si se logra recuperar al PET limpio o con un mínimo de contaminación, el reciclado será económicamente viable y se ubicará a este "desecho" como una oportunidad de hacer negocios, logrando sacar al PET del flujo de los residuos sólidos.

Las fuentes de aprovisionamiento de materia prima para la industria del reciclado en el caso del PET grado envase son<sup>2</sup> :

- 1) Desechos industriales. Los cuales proveen un material de excelente calidad para cualquier tipo de reciclado que se desee realizar, su volumen es importante pero menor que los desechos residenciales. En México se ha iniciado un importante esfuerzo de reciclado basado en los desechos industriales impulsado por asociaciones como la APREPET (Asociación para Promover el Reciclado de PET), la mayoría de los recicladores ocupan este tipo de material. Los desechos industriales se producen por:

<sup>2</sup> Fuente: Manejo y reciclaje de los residuos sólidos de envases y embalajes, Sedesol INE 1993.

#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

- a) Recortes de la producción de envases de PET. Dependiendo del proceso de producción y del fabricante su volumen varía y tiende a disminuir con la optimización del proceso.
  - b) Envases defectuosos o que no cumplen con las normas de calidad del fabricante. En teoría no deberían existir pero en países en desarrollo los volúmenes que se producen son considerables y proveen un material de excelente calidad para el reciclado.
  - c) Envases retornables y rellenables. Cuando existen programas de depósito obligatorio los envases se utilizan un número de ocasiones, sin embargo se van deteriorando en su presentación por el transporte y el uso que le dan los consumidores (capítulo 2) por lo que el productor los saca del mercado y se convierten en materia prima para los recicladores, su calidad es buena al no llegar al flujo de los desechos sólidos y su volumen se puede considerar constante y en aumento. Debido a sus características el PET se está utilizando más en este tipo de envases en sustitución de materiales tradicionales como el vidrio.
- 2) Desechos residenciales. Estos son generados en los hogares de los consumidores de productos envasados con PET, por lo general se consume el producto envasado en corto tiempo y el envase es inmediatamente desechado si no tiene depósito, por lo que es una de las principales fuentes de material para los recicladores en países como EU. Es en los hogares de los consumidores donde se debe iniciar el reciclado con una separación y clasificación de los residuos sólidos reciclables y los no reciclables. En el mundo existen varios programas para la recuperación de los materiales reciclables que más adelante se mencionarán.
  - 3) Basura municipal domiciliaria. Esta se genera en los comercios, oficinas, instituciones y lugares públicos que pueden o no tener un programa de separación de los residuos sólidos. La recuperación de los materiales reciclables se lleva a cabo por programas de reciclado o por los servicios de limpieza municipales, los cuales pueden o no realizar una clasificación selectiva.

Los volúmenes que se producen son grandes pero tiene que existir toda una organización y participación de la población para que tenga éxito un programa de reciclado que quiera utilizar estos desechos.

Para el caso del PET, su valor disminuye a medida que se contamina con el resto de los residuos sólidos a tal grado que no es factible su reciclado si no se recupera antes de que llegue a los tiraderos donde se hace casi imposible su recuperación. La organización para recuperar los materiales reciclables de estos lugares generalmente se lleva acabo por los servicios de limpia municipales aunque en algunos países como Alemania ó EU la recuperación la realizan empresas privadas.

- 4) Basura urbana. Esta es la que se localiza en los tiraderos públicos y es generada por los hogares, oficinas, comercios, instituciones, lugares públicos y las industrias. La recuperación de los materiales reciclables la realizan los pepenadores. La recuperación del PET se hace casi imposible en estos lugares por que el material esta muy contaminado.

#### ***4.4 Tipos de mercado para el PETPC.***

La comercialización del PETPC es un factor central cuando se toma la decisión de establecer un programa de recuperación del mismo.

De acuerdo con la experiencia en EU, para el reciclado del PETPC el aspecto más problemático es encontrar un mercado estable. La comercialización ineficiente se traduce en bajos ingresos, problemas administrativos y desinterés del público en participar en las etapas de selección y acopio del PETPC. Consecuentemente, es de fundamental importancia darle prioridad a la comercialización del residuo.

La comercialización de materiales post-consumo como el PET involucra la necesidad de contactar a una empresa (micro, pequeña, mediana o grande) y llegar a un acuerdo de compra venta con ella, de manera que tome al material tal cual, sin acondicionamiento o con el mínimo necesario para usarlo en la manufactura de un nuevo producto.

#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

Existe otra alternativa que es localizar a un comprador que limpie el material lo procese de forma sencilla y lo convierta en materia prima aceptable para una tercera empresa industrial.

La industria del reciclaje consiste en una gran variedad de negocios que van desde individuos que trabajan por su cuenta (pepenadores), hasta grandes empresas multinacionales pasando por asociaciones civiles, partidos políticos, sociedades de vecinos, universidades, etc. Las empresas del sector de reciclaje pueden ser de alguno de los siguientes cuatro tipos<sup>3</sup> :

- a) Empresas recolectoras. Su función es identificar y clasificar los materiales reciclables y transportarlos desde la fuente hasta el local de los compradores. En este caso se encuentran los pepenadores y ropavejeros así como pequeños empresarios que adquieren desechos y recortes industriales.
- b) Empresas acondicionadoras. Compran materiales reciclables, les aplican un proceso simple como un prelavado, molido, etc., y los revenden a una empresa manufacturera. Algunos procesadores también llevan acabo operaciones más amplias sobre los residuos como lavado, triturado, separación por densificación, aplastado o compactación, antes de vender los materiales a una empresa manufacturera. Entre estos empresarios, hay algunos especializados en un sólo material reciclable , como por ejemplo PETPC, papel y cartón ó latas, así como los que aceptan la mayoría de los materiales post-consumo.
- c) Corredores independientes. Compran ó aceptan materiales reciclables, los venden a uno o más usuarios finales y organizan la transferencia de los materiales, todo ello por una tarifa ó un porcentaje en la operación. En general se trata de individuos familiarizados con una amplia gama de posibilidades de mercado.
- d) Usuarios finales. Adquieren y procesan grandes cantidades de materiales reciclables específicos para uso en sus operaciones de manufactura. Por ejemplo Wellman Inc. que compra hojuelas de PETPC en EU para la producción de rellenos de chamarras, alfombras, etc. ó Shell (antes Goodyear) que en 1991 con Pepsico y Constar, realizaron una coinversión para su proceso de glicólisis en la producción de REPETE (ver capítulo 3).

<sup>3</sup> Manejo y reciclaje de los residuos sólidos de envases y embalajes, Sedesol INE 1993.

#### Tipos de mercado para el PETPC

Los compradores, corredores y acondicionadores conocidos como intermediarios, toman cantidades relativamente pequeñas, dispersas y en ocasiones contaminadas de materiales reciclables y las convierten en materia prima "con especificaciones de planta". En seguida los entregan a los usuarios finales, quienes las transforman en productos nuevos y útiles. Los intermediarios generalmente aceptan cualquier cantidad de materiales recolectados por los servicios municipales.

Todo usuario final tiene requisitos específicos para los materiales que consume, lo cual queda determinado por el proceso que utiliza y el producto que genera, por lo tanto requiere que la materia prima que recibe cumpla con las especificaciones de calidad, así como que se le garantice un aprovisionamiento continuo.

Los cuatro tipos de empresas están motivados por los mismos objetivos que cualquier otra, es decir, obtener utilidades por su inversión y trabajo. Sus decisiones por lo tanto están basadas en los dictados del mercado, oferta, demanda, precio y costo. Es aquí donde el PETPC toma ventaja de los otros plásticos por su demanda creciente gracias a las grandes corporaciones como Shell, Eastman Chemicals, Mobil, Dow, Amoco y otras como Johnson Controls que además de producirlo desarrollan tecnología para ampliar sus mercados de uso final.

Es estimulante el gran interés de la industria por encontrar formas más eficientes de aprovechar el material plástico de desecho, además de que lo anterior mantendrá los precios de éste material altos y los volúmenes crecientes disponibles para asegurar la rentabilidad de las operaciones de reciclado.

Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

#### ***4.5 Programas de aprovisionamiento de reciclables en general y PET en particular.***

##### *4.5.1 A nivel mundial.*

Para tener una idea de como se esta recuperando el PETPC y otros materiales reciclables en el mundo, se mencionarán ejemplos de programas que actualmente están teniendo éxito a nivel internacional.

En los EU algunos de los programas existentes son:

- a) BIRP (Beverage Industry Recycling Program). Los envasadores de bebidas están comprando todas las botellas y latas desechables para acondicionarlas y revenderlas a las empresas manufactureras de envases o de otros bienes de consumo.
- b) Wellman, Inc de South Carolina, es el principal comprador de botellas de PET en todos los EU.
- c) Las empresas privadas recolectoras de basura como Waste Management Inc, Browning Ferris Industries y otras más, operan programas de recolección selectiva y procesamiento de materiales reciclables.

En la provincia de Ontario Canadá existe un programa de recolección selectiva domiciliaria al borde de la banqueta llamado "Blue Box" que daba servicio hasta 1993 a un total de 2.3 millones de hogares unifamiliares y a más de 300 mil edificios y unidades habitacionales plurifamiliares. Además existe otra forma de incentivar al reciclado con un programa llamado "Elección Ambiental", el cual coloca una eco-etiqueta, a los productos que son "amistosos al ambiente". El programa fue diseñado y adaptado de un programa Alemán llamado "Ángel Azul", lo importante en este tipo de programas es que todos los productos seleccionados incluyan el reciclaje como objetivo primario, aún con exclusión de otras características ambientales.

Programas de aprovisionamiento de reciclables en general y PET en particular



Figura 4.5.1 Programa "Elección ambiental". Canadá, Ecoetiquetas.  
Fuente: Manejo y reciclaje de los residuos sólidos de envases y embalajes, Sedesol INE 1993.

En Alemania desarrollaron un sistema de recuperación de reciclables llamado "Punto Verde", en el cual el consumidor separa sus desechos en recuperables y no recuperables para ser enviados a las empresas recicladoras, este programa fue creado por la industria del envase para cumplir con la estricta ley ambiental "Töpfer". La recolección se realiza desde los hogares de los consumidores, las instituciones y los comercios hasta la selección y preacondicionamiento de los subproductos y la entrega de materiales a las empresas usuarias finales que las incorporan a sus procesos de manufactura de nuevos envases y otros productos.

Para operar el programa del Punto Verde se cobra una cuota a los fabricantes de envases y empacadores inscritos al servicio, la tarifa depende del tipo de envase, y el resto de los envases que no porten el punto verde están sujetos a un depósito obligatorio. El sistema del punto verde solo se ocupa de los desechos reciclables y el sistema de servicio municipal de los demás desechos.

Los residuos reciclables que se recolectan son clasificados y entregados sin costo a empresas recicladoras que garantizan que dichos materiales serán convertidos en nuevos envases o bienes.

En Sao Paulo, Brasil, se han establecido Puestos de Entrega Voluntaria (PEVs) en lugares estratégicos como parques, estacionamientos de centros comerciales, conjuntos habitacionales y escuelas, además, estos centros se emplean como medios de publicidad. El programa consiste en colocar cuatro contenedores de 1.55 m<sup>3</sup> cada uno pintados de colores para que la población deposite en ellos papel y cartón (azul), botellas de vidrio mezclado (verde), plásticos (rojo) y metales (amarillo). hasta 1993 existían 12 PEVs en la ciudad pero existen planes para 40 PEVs más.



#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

En Manila, Filipinas las amas de casa se organizaron en un programa de reciclaje que llamaron "Consejo de Mujeres de Metro Manila, Movimiento Balikatán". Este programa lleva 10 años operando con gran éxito y patrocinando un programa de "Reciclaje de Basura para un Desarrollo Sustentable". Hasta 1993 contaban con 20,000 mujeres dentro del programa que separan y clasifican su basura llevándola a centros de acopio para su reciclaje.

Así como existen los programas para recolectar y clasificar los materiales reciclables en los países descritos, también existen otras formas o programas de recuperación de los materiales como el PETPC, algunas de estas formas son:

- 1) Clubes de servicio de organismos no gubernamentales.
- 2) Asociaciones industriales.
- 3) Grupos de vecinos.
- 4) Programas en escuelas, oficinas, hospitales, centros de diversión, etc.
- 5) Estableciendo centros de compra de materiales reciclables cerca de los consumidores.
- 6) Pепенadores.
- 7) Establecer programas de recolección domiciliaria independientes de los servicios municipales.
- 8) Incentivando el reciclado con una etiqueta ecológica, para que el consumidor se entere de que materiales se están reciclando.
- 9) Estableciendo programas de depósito obligatorio.

#### 4.5.2 A nivel nacional.

Para entrar al negocio del reciclado existen una gran variedad de empresas que pueden coexistir. En el caso de México al no existir programas de recuperación de reciclables de los desechos residenciales a nivel nacional ni legislación que obligue a los productores de envases a reciclar sus productos, el mercado nacional se encuentra en sus inicios, empresas usuarias finales hay muy pocas, la más importante es una empresa de nombre Crisol Textil, en el estado de Puebla que actualmente emplea el PETPC para fabricar alfombras de autos.

Existen varias empresas en el país que emplean desperdicios industriales y botellas retornables de refresco como materia prima para la elaboración de PETPC. Dentro de estas empresas se encuentran Reciclados Industriales de México, RECIMEX, Continental PET Technologies, entre otras. Estas empresas son acondicionadoras y tienen capacidad para entregar el PETPC con las especificaciones de planta que los usuarios finales les demanden.

Por otro lado existe una gran cantidad de empresas que únicamente son corredores independientes, que compran y venden el PETPC sin ningún acondicionamiento adicional, algunas de ellas son: Bambergere Polymers, Simplex, Ignus, Reich Mexicana de Plásticos, Crippel, Bolsina, Pagama y Tanda Idea. Sin embargo, según crezca el consumo nacional en envases no retornables por parte de empresas usuarias finales, deberá acelerarse el esfuerzo de recolección y acopio. La abundancia del material y la estructura de precios, permitirán una economía de escala y sostener plantas más sofisticadas de separación y limpieza

En México se ha integrado la Asociación Para Promover el Reciclado de PET (APREPET), la cual esta integrada por las siguientes empresas: Eastman Chemicals de México, Celanese Mexicana S.A de C.V. y Crisol Textil de México como productores de materia prima; Empaques Constar, Continental PET Technologies y Envases Universales de México como productores de envase; y Coca-Cola Femsa, Jugos de fruta Mundet y Colgate Palmolive como usuarios finales. Esta asociación intentará emular a sus contrapartes de EU NAPCOR y EUROCOR en Europa para que se desarrolle aquí todo el potencial de reciclado de este material.

Además existen organizaciones que buscan fomentar la participación social para el desarrollo de la protección de la ecología en los ámbitos urbanos. Un ejemplo de estos grupos es el denominado "Unión de desarrollo ecológico social urbano A. C." que opera en el Valle de México y que busca propiciar la participación de la sociedad en cuanto a la instrucción y capacitación de personal especializado en estos tópicos.

Es innegable que se debe fomentar la selección, recuperación y reciclaje de los materiales reciclables. Pero es fundamental conocer todas las posibilidades y efectos antes de proceder a implantar un sistema de reciclaje. La causa principal de que no tengan éxito este tipo de programas está en el hecho de que se ha organizado bien la oferta y se ha descuidado la demanda.

#### ***4.6 Problemas en el aprovisionamiento de PET para ser reciclado en el Valle de México.***

El principal problema en la Ciudad de México para reciclar el PET es que no se tiene un mercado estable, como en el caso de otros materiales reciclables (latas, papel y cartón). La comercialización del PET es casi nula, no existe legislación que favorezca esta actividad y por lo tanto no se le asegura a la población que su esfuerzo en separar y clasificar los materiales será en verdad útil, ni siquiera se les garantiza que los materiales reciclables no lleguen a los tiraderos de la ciudad.

El desinterés de la población en participar en los programas de separación y clasificación de los materiales reciclables tiene lugar lo mismo en Universidades con programas de separación de residuos que en centros especializados de recolección instalados en plazas comerciales y tiendas de autoservicio.

En la Ciudad de México la gran mayoría de las empresas recicladoras son del tipo recolectoras y acondicionadoras de desechos industriales y tratándose del PET no se acepta el material recuperado de los tiraderos o sistemas de limpieza ya que esta altamente contaminado.

Por otra parte existen iniciativas, como la empresa RECIMEX que ha iniciado la creación de centros de acopio de reciclables en tiendas de autoservicio, garantizando al público su reciclado aunque por el momento esta manejando volúmenes pequeños para la Ciudad de México y no ofrece ningún incentivo económico.

En resumen los problemas para reciclar PET en la Ciudad de México son:

- 1) No se ha desarrollado un mercado interno estable para el PETPC y por lo tanto no existen empresas del tipo usuarias finales.
- 2) No hay legislación que motive el reciclado.
- 3) Los programas existentes de recuperación de reciclables no dan a la población ningún incentivo económico.

Además, otro aspecto muy importante que hay que tomar en cuenta en el estudio del manejo de desechos sólidos en el valle de México es la corrupción existente en el negocio de la basura por parte de autoridades, funcionarios, trabajadores y líderes que se reparten rutas de recolección, zonas de acopio y tiraderos.

A pesar de que sólo entre el 15% y 35% de la basura es reciclable, la disputa por su posición genera pugnas, enfrentamientos y violencia entre diversos sectores de la población, los cuales ven en los desechos sólidos no sólo un beneficio económico sino también político.

Autoridades, funcionarios, trabajadores y líderes que intervienen en el servicio de limpia, recolección y disposición final de los desechos en la ciudad de México laboran mediante acuerdos establecidos de manera "informal", lo cual desencadena disputas y pugnas por el control de rutas, zonas y tiraderos en el D.F.

Actualmente, empresarios pequeños y medianos han comenzado a invertir con el fin de obtener diversos materiales antes de que se conviertan en basura que para algunas personas son inservibles, pero que se pueden reciclar y volver a utilizarse.

Para el sociólogo Hector Castillo Berthier<sup>4</sup>, una de las personas que más ha profundizado en este ámbito, enfrentar el problema es encarar las propias estructuras del sistema político: corrupto, caciquil y corporativo, ya que tanto el gobierno, el sindicato de limpia y la Unión de Pепенadores participan en un intercambio, en donde todos los sectores intervienen en el proceso por mantener el control y poder.

En el sindicato, "la venta de rutas es cosa de todos los días, se trabaja por el sistema de fincas, es decir, arreglos privados entre comercios, empresas y talleres, lo que conlleva a que las autoridades desconozcan por completo la cantidad de materiales que se rescatan".

Una de las cartas de presentación ante el partido en el poder está dada por el número de personas que controlan los líderes, lo que les permite conseguir puestos políticos importantes.

---

<sup>4</sup> El Universal, Laura Sarmiento, 12 de junio de 1995.

#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

Con la llegada de la modernidad al gobierno mexicano, las estructuras caciquiles tienden a desaparecer, por lo que la Unión de Pepenadores es uno de los vestigios que quedan, no obstante, prestan un gran servicio al estado --y no solo a nivel de la separación de los desechos-- ya que funcionan como un grupo escenográfico "cuando hay que darle la bienvenida al presidente de la república en el aeropuerto, cuando hay elecciones; cuando hay que ir a votar por un diputado, cuando hay que ir a hacer acto de presencia en eventos del partido (llevan matracas y mantas)". Es decir, sirven para las fotografías en los periódicos y es como los ha utilizado siempre el Estado.

### ***4.7 Propuestas alternativas***

#### *4.7.1 Panorama mundial.*

Según Denis Sabourin<sup>5</sup>, Vicepresidente de Wellman Inc., se deben reciclar primero los artículos con viabilidad económica y construir una infraestructura alrededor de ellos. Desgraciadamente, la viabilidad económica de los plásticos tiene mucho que ver con variables intangibles como la imagen y la percepción que el consumidor tiene de los mismos. Se necesita cambiar la idea de que los plásticos no pueden ser reciclados o que es muy caro llevarlo a cabo. Tenemos que definir un programa de reciclado que incluya a aquellos plásticos que son hoy en día económicamente viables y desarrollar esos mercados sin perder de vista el hecho de evitar el uso de rellenos sanitarios y tomar una responsabilidad social en cuanto a la conservación de materias primas.

Por ejemplo, la gente comienza a comprender que el PET y otros materiales plásticos tienen aspectos positivos en cuanto a la protección de nuestro planeta. El PET y el HDPE que juntos representan 50% del material del cual están hechos los contenedores domésticos en EU, son los plásticos más viables de reciclar desde el punto de vista económico (son los más rentables y la mayoría de estos contenedores pueden ser fabricados sólo con estos 2 materiales). Desgraciadamente, los fabricantes de otras resinas no quieren quedar fuera del negocio de reciclado e impiden que este tipo de medidas se lleven a cabo.

---

<sup>5</sup> Recycling Today, Agosto de 1994.

El impacto ambiental de los plásticos ha sido una fuente de confusión en gran parte del público. Sin embargo, avances en tecnologías de reciclado junto con una mejor comprensión de la verdadera naturaleza de los rellenos sanitarios y el proceso de incineración, han contribuido a mejorar esa opinión.

Además de NAPCOR, Eastman Chemicals organiza trabajos junto con otras organizaciones de reciclado, para concientizar a la gente de la importancia del reciclado<sup>6</sup>. Entre estas organizaciones destacan APREPET en México, la Council for Solid Waste Solutions (CSWS) en EU, y en Europa la European Recovery and Recycling Association (ERRA) y EUROCOR.

En Europa y EU dos de las principales propuestas para involucrar a la comunidad en la solución del manejo de los desechos sólidos son los siguientes<sup>7</sup>:

*a) Reducción desde las fuentes.*

La reducción de los contaminantes desde las fuentes es la mejor solución para atacar desde la raíz el problema de la generación de desechos sólidos. El concepto de "Reducción de las fuentes" ha sido interpretado de manera errónea, algunos creen que esto significa reemplazar los plásticos por otros materiales y otros creen que esto se refiere a la reducción en la producción de artículos hechos a base de plásticos. El concepto se refiere a disminuir la cantidad de material que se convierte en desechos por medio de envases más ligeros.

Los gobiernos locales están descubriendo que reciclar es caro y que esta operación implica limitaciones físicas. Muchas de las comunidades con programas de reciclado muy intensos operando a altos niveles de eficiencia tienen problemas para solventar el alto índice de desechos sólidos que se generan día con día; esto provoca que las comunidades hagan énfasis en la reducción desde las fuentes como parte de sus programas de manejo de desechos sólidos.

---

<sup>6</sup> Eastman Kodak Company, 1992.

<sup>7</sup> Modern Plastics, Noviembre de 1993.

#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

En EU y Europa los consumidores están mejor informados acerca de como reducir el volumen de los desechos de envases plásticos y escogen productos y envases que puedan dar los mismo beneficios con una menor utilización de materiales. Procter & Gamble por ejemplo ha desarrollado un concepto de empaçado que emplea la reducción de las fuentes y materiales reciclados. La compañía pronto pondrá en el mercado un limpiador líquido concentrado con empaque mínimo dentro de una botella ligera de HDPE , ambos hechos con 25 a 50% de material reciclado.

El público esta tomando conciencia acerca del medio ambiente, pero no esta dispuesto a hacer cambios importantes en su estilo de vida, sin embargo, se hacen cambios graduales particularmente cuando estos están asociados a recuperación económica por parte de los consumidores.

Esto último es algo que debe tenerse muy en cuenta. Difícilmente se podrá tener un programa integral de reciclado en nuestro país a menos que se incentive social y económicamente a los consumidores por parte de las compañías involucradas en la generación y manejo de los desechos sólidos.

#### 2) *Sociedad entre industria y comunidad.*

Un ejemplo de lo que se puede lograr con la participación de todos los sectores involucrados en el manejo de los desechos sólidos es el que se dio en la ciudad de Kingsport, Tennessee, EU, donde después de una década de esfuerzos de las empresas Clean Kingsport, Eastman Chemical Co., Waste Management of North America Inc. y toda la comunidad de esta ciudad se logró en 1990 la apertura del centro de reciclado *América* de Kingsport.

La sociedad entre Eastman y el Centro de Reciclado *América* es la primera instancia conocida en donde la industria promueve esfuerzos para concientizar a la comunidad de la necesidad de reciclar los desechos sólidos. El acuerdo de Eastman para proveer materiales reciclables --incluyendo PET, papel de oficina, papel Kraft, cartón corrugado, etc.-- asegura que un centro de reciclado con tecnología de punta puede ser construido en esa región.

A través de su afiliación con NAPCOR, Eastman ayudó a educar a los niños en más de 100 escuelas del área durante 1991, enseñando a los alumnos desde cuarto hasta sexto grado como deben ser reciclados los contenedores de PET.

#### 4.7.2 Panorama Nacional.

En base a los ejemplos anteriores y al desarrollo de este trabajo, se sugiere lo siguiente para hacer de la industria del reciclado de PET y otros reciclables, un negocio eficiente y productivo, tomando en cuenta el impacto ecológico:

- 1) Desarrollar un mercado interno estable para los productos elaborados con PETPC y en general para productos elaborados con materiales reciclables. Si no existe un mercado para estos productos no se generará demanda de materiales reciclables y cualquier intento por hacer del reciclado un negocio próspero fracasará y solo se dependerá de las exportaciones. De hecho, esta es la base en que la mayoría de las empresas recicladoras en México tienen utilidades, pero no debe ser la única manera de obtenerlas, debido a las condiciones tan cambiantes del mercado.
- 2) Fomentar la legislación. Si no se incentiva a los fabricantes de productos hechos con materiales que podrían ser reciclables a utilizar estos mismos, los productores siempre optarán por utilizar materiales más baratos o que les causen menos problemas en la línea de producción, en su adquisición o un posible rechazo por parte de los consumidores.
- 3) Incentivar económicamente a la población para que recicle. Se debe incluir dentro de los programas de recuperación de reciclables incentivos económicos al público en general para asegurar el aprovisionamiento de materiales reciclables y no sólo apelar a la conciencia ecológica de la población.

Además de las propuestas anteriores, sin las cuales nosotros pensamos que la industria del reciclado en México no podría despegar, a continuación se enumeran una serie de alternativas complementarias para establecer un Sistema de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales que abarque desde la reducción de origen, reutilización, reciclaje, incineración y rellenos sanitarios.



#### Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo

Para que dicho sistema pueda llevarse a cabo, se debe desarrollar en el país lo siguiente:

- Una estructura administrativa adecuada.
- Conocimiento preciso de la cantidad e identidad de los residuos generados en la Zona Metropolitana, incluyendo desechos industriales.
- Métodos apropiados de recolección y transporte de RSM.
- Programas de reducción en la fuente.
- Planes para la clausura, limpieza y control de los actuales tiraderos a cielo abierto.
- Legislación adecuada para llevar a cabo las acciones anteriores.

En cuanto a el negocio de la basura, que se abordó en el apartado anterior, se sugiere que la recolección y transporte de los RSM deje de ser operada directamente por las municipalidades, es decir, desincorporar este servicio, y que se den concesiones de estos servicios a transportistas particulares previa legislación.

Se ha encontrado que un aspecto crítico en la implantación exitosa de los programas y acciones anteriores es educar al público en general sobre la administración de los desechos sólidos. Este proceso debe empezar desde los primeros años escolares y estar diseñado para llegar a personas de cualquier edad, así como a todos los sectores económicos de la sociedad.

La SEP junto con dependencias como el Conacyt, el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CNCA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), debe, además de los cursos que se han implementado sobre ecología en las escuelas de nivel básico, realizar las siguientes acciones:

- a) Promover cursos para maestros y alumnos sobre la problemática y el impacto ambiental de los RSM.
- b) Fomentar el desarrollo de libros, videos y otros materiales de enseñanza e información en las escuelas primarias y secundarias del país e implementar en estas mismas programas de reciclado. También se sugiere la producción y uso de libros de texto gratuito sobre esta temática para estos niveles de educación.

#### Propuestas alternativas

- c) El Conacyt y el CNCA establezcan fondos especiales para financiar estudios e investigaciones sobre este aspecto.
- d) Promover el desarrollo de posibles usos finales de los materiales reciclables en los centros de investigación de las Universidades.
- e) Desarrollar recursos humanos especializados en manejo de RSM.

En cuanto a la Reducción en la Fuente y Reciclaje de los RSM, INE/Sedesol junto con Secofi y SHCP deben:

- a) Promover y coordinar esfuerzos nacionales en pro del reciclaje.
- b) Promover ante la industria del envase y embalaje que se implanten medidas de reducción de origen y de rediseño de productos y envases. La reducción de residuos de envases puede lograrse incrementando la reutilización de materiales, el uso de materiales reciclados o reciclando los materiales.

Los envases deben hacerse de modo que se reduzcan la cantidad de desechos que requerirán disposición final, mediante alguno de los siguientes procesos:

- Envases reusables o rellenables.
  - Envases con tanto material reciclado como sea posible o legal.
  - Envases hechos con materiales que sean reciclables o incinerables.
  - Envases con el mínimo posible de materiales que aun conserven su funcionalidad (aligerarlos, concentrar el producto o algún otro método de reducción de origen).
- c) Se debe fomentar la codificación de las botellas y la colocación de etiquetas de colores en los envases que faciliten su reciclado. En este sentido, se propone la homologación de los materiales de envasado y utilizar solo aquellos que sean factibles de reciclar técnica y económicamente.

**Fuentes de aprovisionamiento de PET post-consumo**

- d) Establecer un fondo administrado por el INE/Sedesol, para fomentar tanto la investigación aplicada como la inversión por parte de la pequeña empresa, en cuestiones relativas al reciclaje como las siguientes:
- Planeación sobre gestión integral de los RSM.
  - Equipos para selección, recuperación, acondicionamiento y reciclaje de residuos.
  - Desarrollo de mercados de productos hechos a base de materiales reciclables.
  - Centros de acopio y acondicionamiento, así como estaciones de transferencia en las que se seleccionen materiales reciclables.
  - Concientización pública, capacitación y enseñanza relacionada con los RSM.
- e) Promover apoyos fiscales y financieros a empresas que usen materiales reciclables.

# **ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

## **Capítulo V. Estudio de mercado y análisis de costos**

### **Objetivo:**

Analizar la oferta, la demanda, los precios y los costos de producción de los diferentes tipos de PETPC que se producen y comparar lo anterior con la situación de la resina virgen.



### ***5.1 Definición del producto.***

El objetivo general de este capítulo es verificar la posibilidad real de comercialización del PETPC proveniente de envases en el mercado nacional e internacional, así como hacer una aproximación de los costos totales y la inversión inicial en la producción del mismo, dependiendo del tipo de empresa y proceso de que se trate.

Para la elaboración de este capítulo se utilizaron las siguientes fuentes de información:

Primarias.- Se realizaron entrevistas con los directores generales de las principales empresas recicladoras en el valle de México ó con las personas encargadas de la producción y/o comercialización de la resina reciclada. Además se sostuvo una entrevista con las personas encargadas del departamento de PET virgen y reciclado en la principal empresa productora de este material en México: Celanese Mexicana.

Secundarias.- Los datos se obtuvieron de la revista más importante a nivel internacional en el área de plásticos y reciclado: Plastics News. Además nos basamos en publicaciones de las asociaciones y cámaras de comercio locales así como de datos estadísticos de las mismas empresas visitadas.

El producto que se va a analizar es, como ya se mencionó, PETPC proveniente de los desechos de envases. El proceso que se sigue para su producción se describe en el capítulo 3 de este trabajo. La presentación más común del PETPC es en forma de hojuelas de 1 cm<sup>2</sup> (aproximadamente). Las hojuelas por lo general son transparentes, aunque en ocasiones se deja el tono rojizo que dan las etiquetas en el procesamiento final de los envases y después se tiñe con otro color, dependiendo de las especificaciones de los usuarios finales.

En general, las especificaciones de los usuarios finales de PETPC son las siguientes:

#### Estudio de mercado y análisis de costos

- Las hojuelas deben estar lo más limpias posible, esto es, no deben tener residuos de papel, aluminio, pigmentos u otras resinas revueltas como el PVC, ni estar contaminadas con agentes químicos (ver capítulo 3).
- El tamaño de partícula debe ser homogéneo para el reprocesamiento (en hojuelas ó si se necesita se debe pelletizar).

Esto último se debe a los problemas que se pueden presentar cuando la resina se va a reprocesar y esta se encuentra contaminada o no tiene un tamaño homogéneo (Capítulo 3).

Las características arriba mencionadas son las únicas que solicitan por lo general las empresas mexicanas involucradas en la industria del reciclaje. A nivel internacional se solicitan las mismas características pero los parámetros de calidad son más elevados dependiendo del uso final del PETPC.

Lo anterior se debe principalmente a los siguientes factores:

- a) El uso final que actualmente tiene el PETPC en México (escobas, tacones para zapatos, alfombras, laminados y espuma de poliuretanos) que no requiere de una alta calidad en el material.
- b) La alta demanda externa que tiene el producto principalmente en EU y China para usos tradicionales como los ya mencionados, ya que cuando se utiliza para producir envases de productos de consumo humano se exige que las hojuelas tengan una mayor limpieza.

## **5.2 Análisis del mercado interno.**

### *5.2.1 Análisis de la demanda.*

El propósito que se persigue en este apartado es determinar cuales son las fuerzas que afectan los requerimientos del mercado local con respecto a la producción de artículos hechos a base de PETPC y determinar la posibilidad de participación del mismo en la satisfacción de esta demanda.

A nivel nacional tenemos que la poca demanda de PETPC que existe se satisface completamente, esto se debe, entre otras cosas, a la falta de promoción y la poca infraestructura de industrias en México que elaboren productos hechos a base de este material.

Según estimaciones hechas por APREPET y demás empresas involucradas en el reciclado de PET, para 1995 se estima que se reciclará el 25 % del consumo total de PET grado botella que para este año se proyecta en 110,000 tons. (capítulo II). Esto significa que se esperan reciclar 27,000 tons. durante este año.

En nuestro país, Crisol Textil de México S.A. de C.V. es la empresa que registra la mayor demanda de este material y por lo tanto el principal usuario final de PETPC. Esta empresa elabora artículos a base de este material que compiten con éxito con los hechos a base de resina virgen (alfombras y fibra textil). Inició operaciones en 1993 en el estado de Puebla y se estima que en 1995 utilizarán 1500 tons./mes de PETPC en la elaboración de fibras textil y de relleno, lo cual significa que su consumo anual será de 18,000 tons. durante 1995.

Entonces, de las 27,500 tons. que se reciclarán para 1995, Crisol consume el 65 % del PET producido en el país; el otro 35 % (9,500 tons.) es en su mayoría exportado hacia el mercado estadounidense.

Sin embargo, la demanda externa no se mantuvo constante en los inicios de las exportaciones (1992 y 1993) ya que como todos los demás productos, el PETPC se rige por la ley de la oferta y la demanda. Por ejemplo, a principios de 1993 había mucho PETPC en bodega, hacia finales del año se vaciaron estas bodegas y aumentó la demanda, para que en 1994 cayera el precio del producto por la sobreoferta y en el primer semestre de este año 1995 se disparará hasta alcanzar el 60 % del precio de la resina virgen. Actualmente existe una demanda creciente del producto a nivel internacional.

#### Estudio de mercado y análisis de costos

Los datos sobre el volumen total reciclado durante 1995 deben tomarse con reserva. Debido a que no se tienen estadísticas oficiales en México sobre este tema, se han tenido que obtener las mismas por medio de entrevistas a los empresarios dedicados al reciclaje de este material y de las empresas productoras de resina en México. Además, algunos productores locales de PETPC se muestran renuentes a brindar este tipo de información por considerarla confidencial ó en algunos casos no se cuenta con un adecuado control sobre las operaciones de las empresas; todo esto ha dificultado la elaboración de un análisis de mercado más completo a nivel nacional.

Como conclusión de este apartado se tiene que la demanda interna es muy baja comparada con la de los países desarrollados y se tiene cubierta en su totalidad; por lo mismo, los productores locales de PETPC tienen sus principales mercados en el extranjero, específicamente en EU donde actualmente se acepta todo tipo de PET recuperado para ser procesado, por ejemplo, con tinta o sin ella, con o sin etiquetas, verde, transparente, etc.

#### *5.2.2 Análisis de la oferta.*

El propósito de este apartado es determinar las cantidades y condiciones en que los productores nacionales de PETPC pueden y quieren poner a disposición del mercado su producto.

La oferta mexicana de PETPC es competitiva, es decir, se encuentra en circunstancias de libre competencia debido a que son muchos los productores y su participación en el mercado esta determinada por la calidad, el precio y el servicio que ofrecen al consumidor. Estas empresas oferentes de PETPC abarcan desde los pequeños pepenadores que venden la botella sin compactar hasta empresas acondicionadoras como RECIMEX y Continental PET Technologies (CPT).

En base a lo anterior, podemos hacer una clasificación de empresas oferentes a nivel nacional por su tipo:



- a) Recolectora.- Pепенadores, Asociaciones civiles, Programas de acopio, Centros de acopio, Universidades, etc.
- b) Intermediarias.- Solo compran y venden las botellas de PET, como, RECIMEX, Plásticos Reich, etc. (estas empresas son además acondicionadoras).
- c) Acondicionadoras.- Acondicionan el material en hojuelas para ser reprocesado, como Continental PET Technologies, Reciclados Industriales de México, RECIMEX, etc. (estas empresas pueden ser también intermediarias).

A continuación se listan algunos datos de las principales empresas oferentes de PETPC en el país:

<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Tipo</b>
Reciclados de México	D.F.	Acondicionadora
Reciclados Industriales de México	Edo. Mex.	Acondicionadora
Bamberger Polymers	D.F.	Intermediaria
Simplex	Monterrey, N.L.	Acondicionadora
Crisol	Puebla, Puebla	Usuaría final
Suministros Industriales de Plástico	D.F.	Intermediaria
Ignus	D.F.	Intermediaria
Reich Mexicana de Plásticos	Edo. Mex.	Intermediaria/Procesadora
Crippel	San Luis Potosí	Intermediaria
RECIMEX	D.F.	Intermediaria/Procesadora
Continental PET Technologies	Puebla	Intermediaria/Procesadora

Tabla 5.2.3 Principales empresas recicladoras de PET en el país.

Fuente: APREPET, 1995.

Se estima que la producción total de PETPC que en conjunto tienen estas empresas fue de 27,500 tons. para año 1995<sup>1</sup>, es decir, el 25 % del total factible de reciclarse (110,000 tons.).

<sup>1</sup>Fuente: APREPET, 1995

#### Estudio de mercado y análisis de costos

La forma que tienen de operar las empresas oferentes es casi siempre con miras a exportar, por ejemplo, Plásticos Reich compra envases a pequeños recolectores a menos del 50 % del precio de venta. RECIMEX instaló desde el año pasado centros de acopio en los principales centros comerciales del valle de México y tiene convenios con empresas productoras de envases de PET para recoger sus "desperdicios". De esta forma los costos de adquisición de materia prima para elaborar PETPC se reducen considerablemente.

Otra de las empresas que funciona como comercializadora y productora de PETPC es Continental PET Technologies de EU Esta empresa tiene una planta productora de hojuela de PETPC en el Edo. de Puebla, siendo sus principales clientes Crisol S.A. de C.V. en México y diversas empresas en el sur de los Estados Unidos. Además tiene convenios de colaboración con importantes transnacionales como Coca-Cola y otras productoras de envases de PET para recoger la producción defectuosa y procesarla en forma de hojuelas.

La forma en que estas empresas comercializan el PET, así como el volumen de ventas y los precios, varían de acuerdo al tipo de empresa.

En cuanto a las exportaciones del producto se observa un incremento de las mismas en los próximos años debido a que el índice de reciclado aumentará proporcionalmente al consumo de PET grado botella esperado. Sin embargo, hay que tomar en cuenta la variabilidad de esta tendencia ya que depende de la posibilidad de abrir nuevos mercados en el exterior o a nivel nacional.

Debido a que la producción de PETPC esta en función del auge en la industria del envase, a continuación se presenta la siguiente proyección del mercado de envases mexicano.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>Retornables de vidrio</b>	76.0 %	65.0 %	60.0 %	55.0 %	52.0 %	49.0 %
<b>Retornables de PET</b>	20.0	25.0	26.0	23.0	18.0	15.0
<b>Desechables de vidrio</b>	1.5	3.0	4.0	5.5	7.0	8.0
<b>Desechables de PET</b>	1.0	4.0	6.0	10.0	15.0	18.0
<b>Latas</b>	2.5	3.0	4.0	6.5	8.0	10.0

Tabla 5.2.4 El mercado de envases en México, Proyección.

Fuente: "la industria embotelladora" (su tendencia), Hules y Plásticos de México, febrero de 1995.

La tabla anterior muestra que en los próximos años habrá una disminución en cuanto al uso de envases retornables (de vidrio y plástico), sin embargo, crecerá durante los próximos 5 años el uso de envases desechables de PET.

Según la casa de bolsa "interacciones"<sup>2</sup> las perspectivas para este sector son brillantes, una mayor expansión, volúmenes más altos de ventas y ahorros importantes a pesar de que el sector refresquero todavía se ve afectado por el control de precios por parte del gobierno. Aunque, como sabemos, la industria de los plásticos evoluciona rápidamente y no se descarta que a largo plazo el PET pierda parte del mercado por la introducción de nuevos materiales de envase.

### 5.2.3 Análisis de los precios.

El precio es la cantidad monetaria a que los productores están dispuestos a vender y los consumidores a comprar el PETPC cuando la oferta y demanda están en equilibrio<sup>3</sup>.

Esto quiere decir que se sigue la ley de la oferta y la demanda para determinar el precio. Si en estos momentos la demanda de PETPC es alta, entonces los precios se elevan hasta casi el 60% del precio de la resina virgen, pero cuando la demanda disminuya, los productores para los cuales ya no sea rentable producir por debajo de ciertos precios tendrán que dejar de hacerlo o cambiar de producto.

A nivel nacional, el precio que rige las transacciones entre las empresas exportadoras y las demandantes en EU esta determinado por parámetros internacionales (ver tabla 5.3.1 y 5.3.2), pero entre los recolectores, intermediarios y acondicionadores mexicanos, el precio de venta depende, como ya hemos dicho, de la calidad, volumen de venta, distancia, condiciones climáticas, etc. y sobre todo de la negociación final. Hay ocasiones en que los oferentes de botellas desconocen el valor de lo que venden y los intermediarios resultan beneficiados con esta situación.

<sup>2</sup> Fuente: "la industria embotelladora" (su tendencia), Hules y Plásticos de México, febrero de 1995.

<sup>3</sup> Evaluación de proyectos de inversión, Luis Vaca Urbina, México, 1993.

Estudio de mercado y análisis de costos

Así es como encontramos a pequeños recolectores que venden desde 50 kg. de botellas limpias sin compactar ó con etiqueta a una empresa intermediaria/reprocesadora que la compra desde N\$ 2.0 el Kg. dependiendo de la limpieza del material y la negociación final con el cliente. Esta misma empresa vende el PET únicamente con una mayor limpieza y molido a una compañía de North Caroline, EU a un precio de N\$ 5.0 el Kg.

Lo anterior nos da una idea del desorden que en este sentido impera entre los productores mexicanos en cuanto al precio y la calidad del PETPC.

Para tener una base de cálculo de ingresos futuros, o para ser utilizado en futuros trabajos como dato comparativo, es conveniente determinar el precio promedio del PETPC que se calcula de acuerdo al tipo de empresa y calidad del producto, como se muestra en la siguiente tabla:

<i>TIPO DE EMPRESA</i>	<i>CALIDAD DEL PRODUCTO</i>		
	<i>Regular</i>	<i>Buena</i>	<i>Excelente</i>
<b>Recolectoras</b> (bajo volumen de ventas)	1.5 a 2.0 (botella en pacas cortadas)	---	---
<b>Intermediaria</b> (decenas de toneladas)	2.4 (botella molida con tinta)	4.5 (botella transparente molida)	---
<b>Acondicionadora</b> (cientos de toneladas)	2.5 (botella limpia, molida y con tinta)	5.5 (hojuela transparente)	5.5 a 6.0 (hojuela para reciclado químico, pellet)
<b>Promedio</b>	<b>2.1</b>	<b>5.0</b>	<b>5.75</b>

Tabla 5.2.5 Precios promedio FOB del PETPC en nuevos pesos (N\$) en el mercado nacional (junio de 1995).

Fuente: APREPET, RECIMEX, Plásticos Reich, 1994.

A nivel internacional, el precio FOB (Free on board) de la hojuela transparente de PETPC es en promedio de N\$ 7.4 por Kg.<sup>4</sup> (0.54 USD/lb), que comparado con el de los productores mexicanos de N\$ 5.75 resulta menos atractivo para los usuarios finales en EU que prefieren el PETPC producido en nuestro país.

<sup>4</sup> Plastics News, julio de 1995.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre el precio de la resinas virgen y reciclada en el mes de junio de 1995 que nos muestra las enormes variaciones entre un tipo de PET y otro dependiendo del lugar donde se comercializa.

Resina virgen (grado botella)	Resina reciclada, hojuela transparente (EU)	Resina Reciclada, hojuela transparente (México)
N\$ 11.0	N\$ 7.4	N\$ 5.5

Tabla 5.2.6 Comparación de precios promedio entre resina virgen y post-consumo en junio de 1995.

Fuente: Plastics News, APREPET, RECIMEX, Plásticos Reich, 1994.

### 5.3 Análisis del mercado externo.

A nivel mundial el consumo de PET en la industria del envase será del orden de 2.5 millones de toneladas al finalizar 1995, y se tiene proyectado que crecerá a 4 millones de toneladas para el año 2000 (ver tabla 2.4.2), por lo que es necesario reducir los desechos que los productos elaborados con PET produzcan. Los mayores consumidores de PET son: EU con 702 mil toneladas en 1992 seguido por Europa con 490 mil toneladas y China/Hong Kong con 56 mil toneladas para ese mismo año (ver tabla 2.4.1), por lo que en estos países el reciclado de PET se tiene que tomar como una prioridad.

En los últimos diez años en Inglaterra se han fabricado más de 8 mil millones de botellas de PET, de las cuales el 97% han sido desechadas en rellenos sanitarios. En 1990 se consideró que la cantidad de botellas de PET disponibles para reciclar a escala mundial tendría un valor de 900 millones de £<sup>5</sup>. Solo en Europa Occidental los residuos de PET alcanzan un valor de 190 millones de £.

El comportamiento del mercado para el reciclado de PETPC esta en sus primeros años de desarrollo si tomamos en cuenta que en el país donde se tiene un mayor avance en este sentido (EU) el reciclado de PETPC se inició en 1987. En otros países como México apenas en 1993 se iniciaron programas de recuperación de PETPC además de los programas de reciclado industrial que ya se tenían implementados.

<sup>5</sup> Manejo y reciclaje del los residuos de envases y embalajes, INE SEDESOL 1993.

#### Estudio de mercado y análisis de costos

Conocer de una manera real el mercado a futuro para el reciclado de PET resulta complicado en países como México, con una economía inestable, donde se considera al PET como un producto “nuevo” en el mercado local y la mayor parte de la demanda se encuentra en el exterior. Además, la variedad de formas en que este producto puede ser reciclado dependiendo de su aplicación dificulta su estudio y hace necesario un análisis por separado de cada tipo de industria que transforma el producto en bienes de uso final (ver capítulo 3).

Para México la demanda externa de que se tiene noticia, según APREPET, proviene principalmente de EU y en menor medida de China. Para los intereses de los recicladores mexicanos, el mercado natural para sus exportaciones es EU que aparte de compartir una situación geográfica, política y económica cercana a México es el principal y más importante mercado a nivel mundial para el PET en todas sus formas, motivo por el cual a continuación se hace un análisis más profundo de este mercado.

##### *5.3.1 Demanda en los EU.*

Se han hecho estimaciones de la demanda por asociaciones como la NAPCOR y otros grupos de investigación de mercados en EU como The Freedonia Group Inc. que muestran el aumento de la demanda en EU para el PETPC proveniente de los desechos de envases. La información cuantitativa con que se cuenta debe ser tomada con cierta reserva debido a que se tienen pocos años de haber iniciado la recopilación de estadísticas y se encuentran diferencias de una publicación a otra, además de que el mercado de PETPC se encuentra en una etapa de crecimiento hacia la estabilización.

Existen dos puntos de vista desde los cuales puede observarse la demanda. El primero de ellos coloca a la demanda potencial en EU en casi el doble de la que se tiene en usos tradicionales y el segundo tiene una demanda con un volumen menor, es decir, solo se habla de la demanda en aplicaciones tradicionales de PETPC y no se toma en cuenta el mercado de fabricación de botellas con un contenido de PETPC. Estos puntos de vista son explicados a continuación.

La demanda inicial para el PET antes de que se empezara a emplear como material para la fabricación de envases fue en la industria textil en los años 50's. En los 70's se le usó como fibra o película orientada biaxial. Después, se empezó a emplear como envase luego de una cuidadosa revisión de los aspectos de higiene y medio ambiente; esto fomentó la necesidad de reducir los desechos sólidos que estos envases de PET producían reciclando originalmente estos residuos y produciendo un material sintético para el relleno de almohadas, chamarras y otros.

Dado que la calidad del PET reciclado mejoró, se hallaron aplicaciones de mayor importancia en tejidos, películas y botellas para productos que no son de consumo humano.

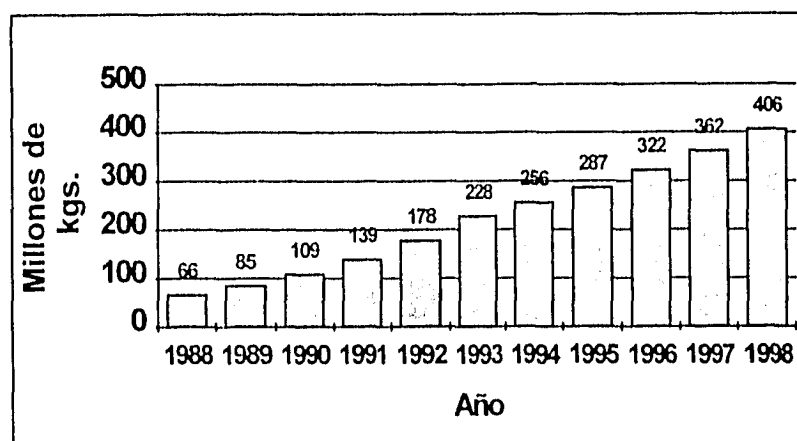
Para todas estas aplicaciones que llamamos "tradicionales" el PETPC tiene varios años en el mercado, por lo que se tiene una mayor certeza en sus proyecciones a futuro.

En los últimos años el desarrollo de los procesos de reciclado de PETPC a continuado abriendo nuevos mercados en los cuales se tiene un aumento en la demanda para este material.

La demanda total para el PETPC es incierta debido al desarrollo de la tecnología que si bien ha perfeccionado procesos de reciclado como la glicólisis y metanólisis que harían crecer la demanda en más de un 50%, su viabilidad comercial se esta poniendo en duda, debido a la poca rentabilidad que se tuvo en los primeros años de desarrollo de estas tecnologías a nivel comercial Sin embargo, las empresas químicas no han dicho la última palabra y han surgido nuevos procesos como el multicapas para la producción de envases para productos de consumo humano que provocaría que la demanda para el PETPC aumente de forma considerable.

En resumen, se tienen dos tipos de demanda, una en donde existe una mayor certeza en el volumen requerido para aplicaciones tradicionales de PETPC y otra en aplicaciones para la producción de envases de productos de consumo humano que aumentará la demanda de este material, pero en la cual se desconoce el volumen de este aumento debido al poco tiempo que tiene esta nueva tecnología de haber surgido.

A continuación se muestra una tabla que fue publicada por The Freedonia Group Inc. y que describe el comportamiento de la demanda para el PETPC haciendo una proyección hasta 1998. Los datos muestran la demanda para el PETPC en aplicaciones tradicionales, es decir, no se incluye la demanda potencial para la elaboración de envases de productos de consumo humano con un porcentaje de PET reciclado. Las cifras que se muestran en la gráfica 5.3.1 son los valores medios para un crecimiento promedio de 1988 a 1993 del 28.3 % y de 1993 a 1998 del 12.3 % anual.



Gráfica 5.3.1 Demanda para el PETPC en usos tradicionales proveniente de los desechos de envases en los EU.

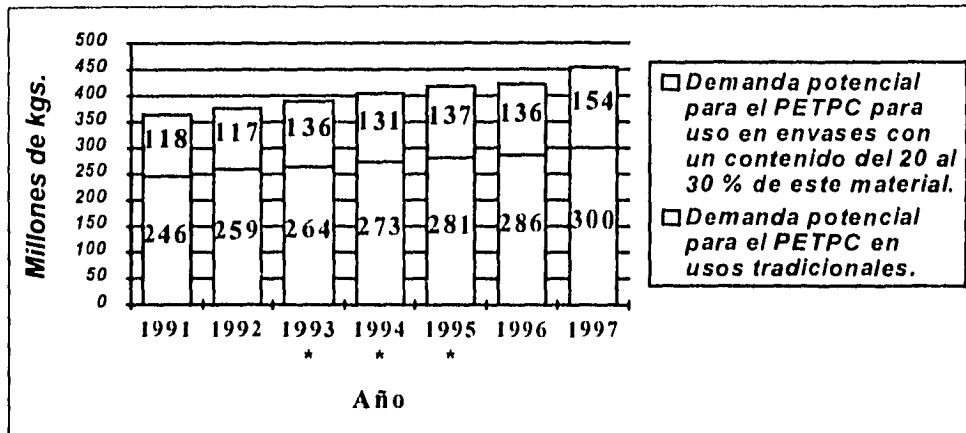
Fuente: The Freedonia Group, enero 1995.

Sin embargo para NAPCOR quien es la asociación más importante a nivel mundial en estudios de mercado de PET reciclado, la demanda para el PETPC en sus aplicaciones tradicionales se estimó en 1991 en más de 246 millones de kg. (543 millones de lbs.), es decir, casi el doble que la estimada por Freedonia Group y esta demanda deberá crecer para 1997 a 300 millones de kg. (662 millones de lbs.).

Lo anterior se debe a que para NAPCOR, actualmente la demanda de PETPC no se puede limitar a sus usos tradicionales, ya que existe el desarrollo tecnológico para que cada día surjan nuevas aplicaciones para este material; además de que se pronostica que los mayores aumentos en la demanda para el PETPC se darán en aplicaciones en las cuales se puede volver a emplear la resina para envasar alimentos.



NAPCOR estima que la demanda real para el PETPC en todas sus aplicaciones potenciales llegará en 1997 a más de 454 millones de kg. Esto significa un aumento del 51% con respecto a la demanda estimada en los usos tradicionales (ver gráfica 5.3.2.)

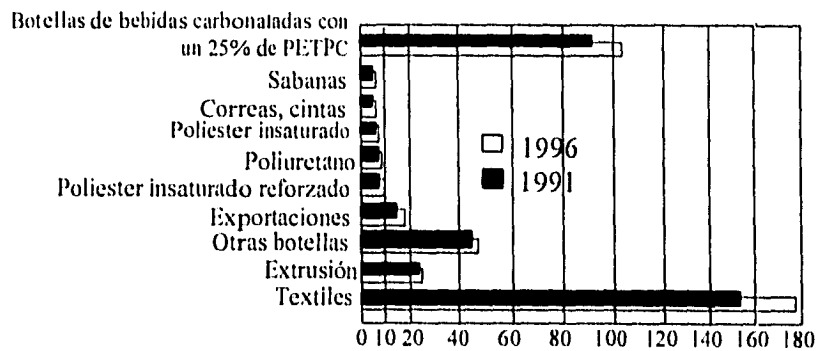


\* Los años de 1993, 1994 y 1995, son estimaciones propias calculadas por mínimos cuadrados con base en las cifras que NAPCOR a publicado.

Gráfica 5.3.2 Mercado potencial para el PETPC según NAPCOR.

Fuente: NAPCOR, Junio 1995.

La demanda que ha estimado NAPCOR se desglosa en la siguiente gráfica por tipo de aplicación para los años de 1991 y 1996.



Gráfica 5.3.3 Mercado potencial para el PETPC por uso final. Unidades en millones de kg.

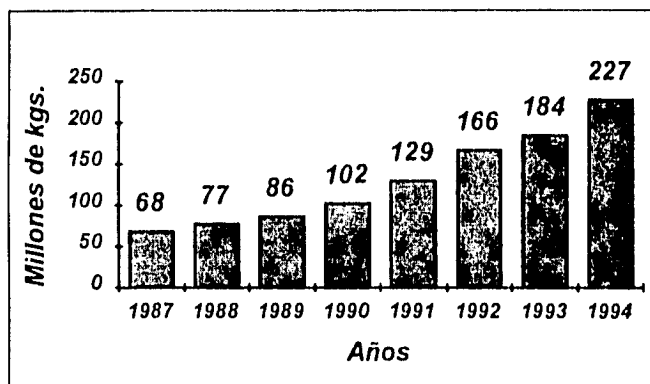
Fuente: NAPCOR, 1992.

#### Estudio de mercado y análisis de costos

Los mayores aumentos en la demanda seguirán presentándose en la industria textil y en la fabricación de botellas con un contenido de PETPC.

#### 5.3.2 Oferta en los EU.

Para conocer en que medida los recicladores de EU están cubriendo la demanda existente de PETPC, se tienen cifras por parte de NAPCOR y la American Plastics Council (APC) que coinciden en sus estimaciones de los niveles de reciclado de las botellas de PET y cómo se han comportado estos niveles desde 1987 hasta 1994 haciendo del PET el plástico más reciclado en los EU (ver gráfica 5.3.4)<sup>6</sup>.

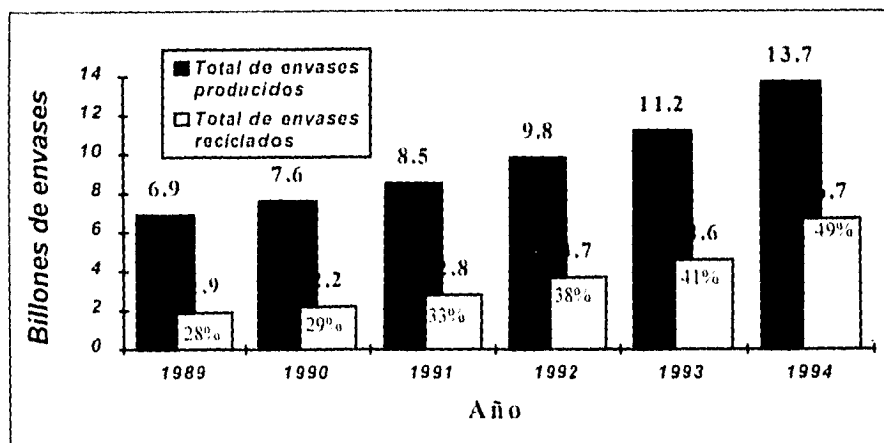


Gráfica 5.3.4 Volumen de PET reciclado de las botellas de bebidas carbonatadas 1987-1994

Fuente: American Plastics Council. Junio 1995.

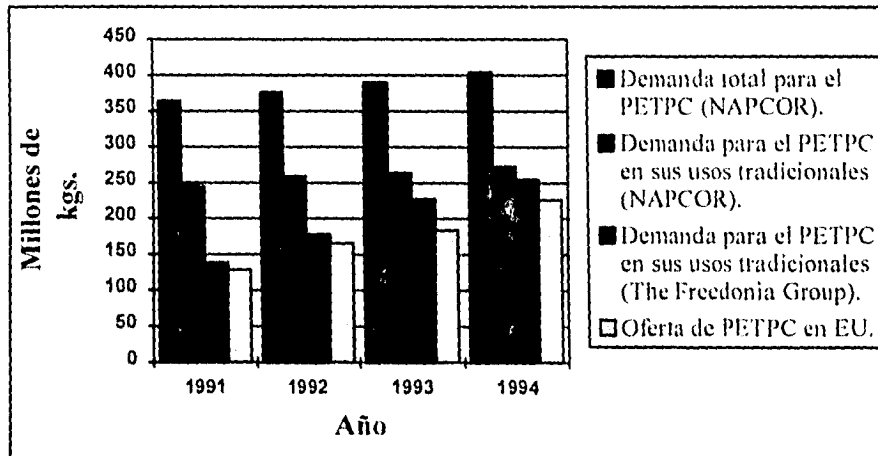
El porcentaje de PETPC que se ha recuperado en EU ha tenido un rápido crecimiento. En 1989 tan sólo se recuperaba el 28% del total de envases producidos, ya en 1994 se alcanzó un nivel del 48.6% (Gráfica 5.3.5). El reto es seguir motivando a más gente a que participe en los programas de reciclado sin que se pierda la competitividad en los precios del PETPC. Los niveles que se han alcanzado son buenos pero tienden a llegar a un límite en el cual se pueden reducir los márgenes de ganancia, por lo que se prevé por parte de los recicladores una disminución en el ritmo de crecimiento aunque se tienen metas ambiciosas en algunos estados de incrementar el porcentaje de material post-consumo que se recupera.

<sup>6</sup>Para obtener más información sobre empresas recicladoras en EU y los materiales que procesan, se debe consultar el Apéndice I de este trabajo.



Gráfica 5.3.5 Nivel de reciclado para envases de bebidas carbonatadas 1989-1994.  
Fuente: American Plastics Council. Junio 1995.

La siguiente gráfica muestra una comparación de los niveles de la demanda y oferta para el PETPC proveniente de envases en los EU, en donde se observa la diferencia en las estimaciones de la demanda según quien las publica. A pesar de lo anterior, la oferta que se ha registrado en EU siempre es menor que la demanda y por la mismo existe una demanda insatisfecha alta.



Gráfica 5.3.6 Comparación de la demanda y la oferta de PETPC en EU, 1988-1989.  
Fuente: American Plastics Council, The Freedomia Group, NAPCOR, 1995.

#### Estudio de mercado y análisis de costos

Los datos de la gráfica anterior tienen que tomarse con reserva, ya que si bien pueden darnos una idea del volumen que falta por cubrir (según NAPCOR la demanda total para el PETPC en EU sólo se cubre en aproximadamente un 50 %), aun no se cuenta con estadísticas oficiales y estas cifras se pueden ver sesgadas por intereses particulares.

Además hay que tomar en cuenta que en las cifras que NAPCOR presenta como demanda total para el PETPC se suman la demanda para los usos tradicionales y la demanda potencial que tiene este material en la fabricación de envases de productos para consumo humano.

Haciendo el cálculo más conservador para la demanda insatisfecha en los usos tradicionales del PETPC de acuerdo con los datos utilizados en el presente trabajo de tesis, en 1995 se tendría una demanda insatisfecha de 55 mil toneladas anuales en los EU. Si la demanda insatisfecha que se calcula en EU se compara con el consumo total de PET que tendrá México para 1995 de 110,000 toneladas, se tendría que exportar hacia este país todo el PET que se recicla en el país y además elevar el índice de reciclado hasta casi el 50 % del consumo total (para 1995 se espera reciclar el 25 %) para cubrir la demanda insatisfecha en los EU.

Actualmente la demanda en EU esta siendo complementada principalmente por importaciones o expansiones de las empresas norteamericanas hacia otros países, como en el caso de la mayor empresa recicladora de PET en EU, Wellman Inc., que en junio de 1995 anunció su crecimiento hacia el mercado Europeo en países como Holanda e Irlanda y que planea duplicar su producción combinando la resina PET y la fibra de poliéster para el año 2000<sup>1</sup>. Para esta empresa el mercado para el PET continuará en expansión en todo el mundo y por lo mismo, esta tomando posición del mercado europeo.

---

<sup>1</sup> Fuente: Plastics News, junio 12 1995

La atención de las grandes empresas como Goodyear, Mobil, Amoco y Eastman Chemicals, es determinante para el desarrollo de la industria del reciclado de PETPC. La demanda para las hojuelas crecerá abriendo oportunidades de desarrollo para pequeñas y medianas empresas de reciclado mecánico en EU y México, convirtiendo al PET en el mayor negocio de los noventa dentro de las resinas para envase.

### *5.3.3 Precios a nivel internacional.*

Para conocer como se han comportado los precios del PET virgen y del PETPC en los últimos años y meses, se presentan a continuación una serie de cifras que la revista *Plastics News* ha publicado. Cabe mencionar que esta publicación es de las más importantes en EU y presenta los precios FOB (Free on board) a los que se ha venido comercializando el PET y PETPC en sus formas más usuales a nivel internacional, estos precios se generaron por entrevistas con compradores y empresas productoras de estos materiales.

La tabla 5.3.1 muestra los valores semestrales de enero de 1990 a julio de 1994, donde se compara el PETPC transparente y verde con la resina virgen grado botella que se emplea en la fabricación de envases. Los precios son para el mercado estadounidense y se encuentran variaciones a nivel internacional dependiendo del contrato que se haga de empresa a empresa.

El comportamiento del PET grado botella registra su menor precio en enero de 1990 con 61.50¢ de USD/lb (1.36 USD/kg.) para grandes volúmenes de venta, este precio ha estado aumentando hasta alcanzar en julio de 1994 72¢ de USD/lb (1.59 USD/ kg.) como se observa en la gráfica 5.3.7. A su vez, el precio del material post-consumo ha mantenido una tendencia similar, debido entre otras cosas a un aumento en su demanda. Para el PETPC su precio varía según el estado en que se encuentre el material, para el material transparente su precio en promedio es de un 58 % del material virgen, para el PETPC verde este precio promedio disminuye hasta el 40 % del valor del PET grado botella.

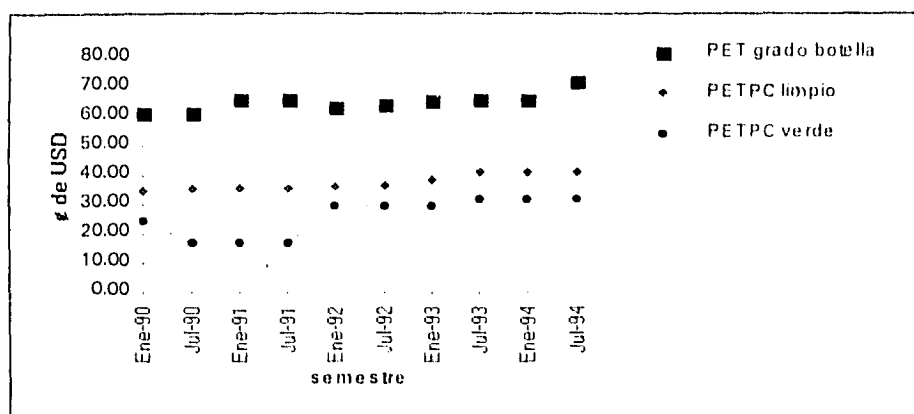
Estudio de mercado y análisis de costos

Tipo de PET	Ene-90	Jul-90	Ene-91	Jul-91	Ene-92	Jul-92	Ene-93	Jul-93	Ene-94	Jul-94
PET grado botella	61.50	61.50	66.00	66.00	63.00	64.00	65.50	66.00	66.00	72.00
PETPC Transparente	35.00	35.50	35.50	35.50	36.00	36.50	38.50	41.50	41.50	41.50
PETPC verde	24.50	17.00	17.00	17.00	29.50	29.50	29.50	32.00	32.00	32.00

Precio de gran volumen en ¢ de USD/lb.

Tabla 5.3.1 Precios semestrales en EU para el PET grado botella y para el PETPC.

Fuente: Plastics News.



Gráfica 5.3.7 Precios semestrales en EU para el PET grado botella y para el PETPC.

Fuente: Plastics News.

Para 1995 se presentan en la tabla 5.3.2 datos mes a mes del comportamiento de los precios para el PET grado botella y PETPC en las formas que actualmente se están comercializando, es decir, PETPC transparente ó verde en forma de hojuela y pellet. Aquí se puede observar el valor que el material post-consumo puede alcanzar de acuerdo con al reprocesamiento al que fue sometido.

En la gráfica 5.3.8 se muestra como el PETPC en forma de hojuela ha aumentado de precio más rápido que el PETPC en forma de pellet, esto muestra la preferencia del mercado hacia esta forma de comercialización, situación que se puede deber al mejoramiento de los sistemas de producción que ya no requieren que el PETPC sea pelletizado.

TIPO	Ene-95	Feb-95	Mar-95	Abr-95	May-95	Jun-95
PET grado botella I*	69.00	69.00	69.00	69.00	72.50	72.50
PET grado botella II**	76.00	76.00	76.00	76.00	82.00	82.00
PETPC transparente hojuela	38.50	38.50	46.50	46.50	54.00	54.00
PETPC transparente pellet	52.50	52.50	55.00	55.00	58.00	58.00
PETPC verde hojuela	27.50	27.50	36.50	36.50	44.00	44.00
PETPC verde pellet	39.50	39.50	44.50	44.50	48.00	48.00

Precios en c de USD/lb.

I\* volúmenes anuales mayores que 20 millones de lbs.

II\*\* volúmenes anuales entre 2 y 5 millones de lbs.

Tabla 5.3.2 Precios mensuales en EU para el PET grado botella y para el PETPC.

Fuente: Plastics News.

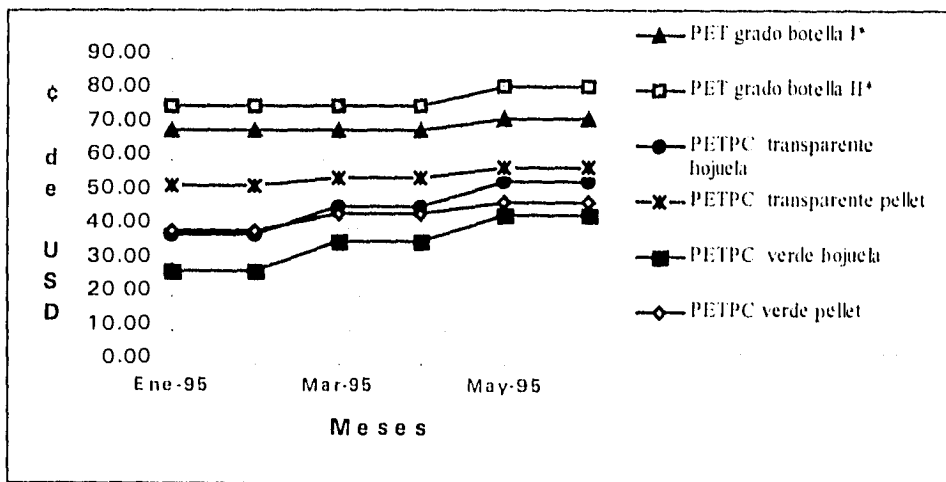


Tabla 5.3.8 Precios mensuales en EU para el PET grado botella y para el PETPC.

Fuente: Plastics News.

#### ***5.4 Análisis de costos asociados al proceso de producción de PETPC.***

El objetivo de este apartado es realizar un análisis comparativo en cuanto a costos entre las diferentes formas de reciclar el PET grado botella según la aplicación que tendrá el material.

Como se explicó en el capítulo 3, existen dos grandes formas de hacer el reciclado de la resina PET, mecánica y químicamente. En cada una de estas formas se obtienen distintos grados de calidad en el material reciclado que producen. Estos grados dependen principalmente de las condiciones iniciales de limpieza de las botellas y del reprocesamiento que se le da al material, y a su vez, este reprocesamiento está en función de los requerimientos que los usos finales del material determinen.

Obviamente, los costos totales de operación están en función de la pureza y uniformidad con que se quiera producir el material reciclado. Sin embargo, determinar por separado en cada tipo de empresa y por cada tipo de PETPC que se produce, los costos totales de operación (costos de producción, de administración, de ventas y financieros), la inversión inicial, el capital de trabajo, los ingresos, el costo de capital, la depreciación y amortización de los equipos, y en general el monto de los recursos económicos necesarios para producir el PET reciclado, sería un trabajo gigantesco y hasta cierto punto inútil debido a que la industria del reciclado de PETPC se encuentra en sus primeros años de desarrollo y no se cuenta con la información adecuada para realizar lo anterior, por lo que este trabajo trata de cubrir esta carencia. Además, la inestabilidad del mercado interno y externo y las condiciones económicas del país tan riesgosas y variables no permiten hacer un estudio de este tipo.

Sin embargo, el siguiente estudio realizado a finales de 1992 por la empresa Automated Recycling Corporation de Florida, EU, nos da una idea de lo que serían los costos de operación para el reciclado mecánico de PET en un sistema automatizado a través del desglosamiento de cada uno de los componentes de estos costos. Las características más importantes de este sistema se describen a continuación:



### Análisis de costos asociados al proceso de producción de PETPC

El sistema de reciclado produce una hojuela de PET con un alto valor de pureza debido a que clasifica las botellas por tamaño y color y separa las etiquetas, el pegamento y la base de forma automática. Este material puede ser utilizado después para un proceso químico que produce el PET reciclado con una mayor calidad.

La separación por color se hace por medio de un sensor óptico que envía los envases de color a un granualador, los transparentes a otro y las bases de las botellas (que son de otro tipo de material como HDPE) a otro. Cada uno de los 3 granuladores descarga el material en sus respectivos separadores ciclónicos; esto da como resultado la producción de tres tipos de hojuelas de gran pureza provenientes de material mezclado.

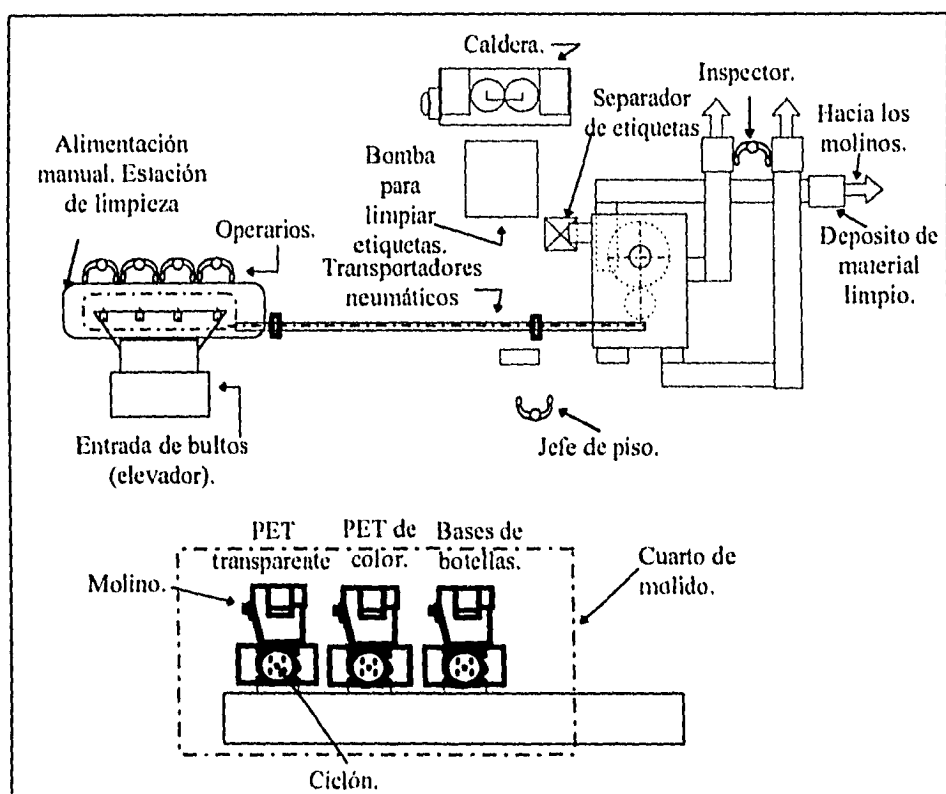


Figura 5.4.1 Sistema "ARC 7200 PET beverage bottle recycling system".

Fuente: Automated Recycling Corporation, Diciembre 1992.

Estudio de mercado y análisis de costos

A continuación se presenta el análisis de costos de operación realizado en noviembre de 1992 por esta empresa estadounidense.

<b>Asumiendo que se opera en las siguientes condiciones:</b>	
Eficiencia	85 %
No. de Turnos	3
Margen %	30 %
Horas por año	6240
Horas por día	24
Días a la semana	5
Horas por semana	120
Semanas/ año	52
<b>Sueldos y salarios en USD</b>	
Director	\$ 24,000
Supervisor (es)	\$ 18,000
Operador (es)	\$ 7.00 / hr
No. de turnos	3
<b>Precio de venta en USD</b>	
PET precio/lb	\$ 0.37
HDPE precio/lb	\$ 0.05
<b>Costos de las botellas en USD</b>	
Botellas costo/lb	\$0.08
<b>Insumos en USD</b>	
Electricidad/ Kwh	\$ 0.09
Carga/ lb	\$ 0.30

Análisis de costos asociados al proceso de producción de PETPC

Entrada de la mezcla de botellas	
% botellas de 2 lts (sin base)	40.0 %
% botellas de 2 lts (con base)	40 %
% botellas de 1 lts (sin base)	5 %
% botellas 20 oz. (sin base)	7.5 %
% botellas 16 oz. (sin base)	7.5 %
TOTAL	100 %

Costos de operación en USD.

**Costos Fijos.**

Construcción	12,000 (pies <sup>2</sup> ) x \$ 4.00 (USD/pie <sup>2</sup> )	\$ 48,000
Utilidades		\$ 6,000
Seguros		\$ 15,000
Impuestos		\$ 5,000
Teléfono		\$ 1,200
Gastos de abastecimiento		\$ 2,400
<b>sub-total fijo</b>		<b>\$ 77,600</b>
<b>costo de maquinaria</b>		<b>\$ 200,000</b>
<b>sueldos / salarios</b>		
director	\$ 24,000(sueldo) 30 %(margen)	\$ 31,200
supervisor	\$ 18,000(sueldo) 30 %(margen) 3(turnos)	\$ 70,200
operadores	\$ 7.00(salario) 30 %(margen) 43,680(hrs/año)	\$397,488
<b>subtotal nómina</b>		<b>498,888</b>

Estudio de mercado y análisis de costos

Gaylords	7,818 (No. gaylords)	\$ 8.00 (USD/gaylord)	\$ 62,544
Partes de refacción		\$ 7,000 3 (turnos)	\$ 21,000
Mantenimiento	12 (meses)	\$ 5,000 (USD/mes)	\$ 60,000
Electricidad	\$ 12,000 (kw/hr) 52 (semanas)	\$ 0.09 (tarifa)	\$ 56,160
Operación de caldera	\$ 20,000	3 (turnos)	\$ 60,000
Carga	\$ 62,537	3 (turnos)	\$ 187,612
Sub-total variable			\$ 946,204
<b>Costo total de operación</b>			<b>\$ 1,223,804</b>

**Entrada de material**

Botellas	9600 botellas/hr	x	85 %	8160 botellas/hr
	1179 libras/hr	x	85 %	1002 lbs/hr
			(eficiencia)	entrada
PET	1035 lbs/hr	x	85 %	880 lbs/hr
				salida de PET
HDPE	144 lbs/hr	x	85 %	122 lbs/hr
				salida de HDPE

**material utilizado**

8160 botellas/hr	6240	50,918,400 botellas / año
1002 lbs / hr	\$ 0.08 6240 =	\$ 500,198 costo de material
entrada	(USD/lb) (hrs / año)	6,253,722 lbs / año

**ventas de material**

880 lbs / hr	\$ 0.37 6240	2,031,39 PET reciclado
salida de PET	(USD/lb) (hrs / año)	3 lbs / año
		5,490,25
		1
122 lbs /hr	\$ 0.05 6240	38,174 HDPE reciclado
salida de HDPE	(USD/lb) (hrs / año)	763,470 lbs / año

Análisis de costos asociados al proceso de producción de PETPC

**Resumen anualizado.**

Descripción	Importe en USD	% de ingresos	% de los costos	Importe en USD / lb
Ingreso bruto	\$ 2,069,566	100%	120 %	\$ 0.331
Costo de material	\$ 500,298	24.2 %	29 %	\$ 0.080
Utilidad bruta	\$ 1,569,269	75.8 %	91 %	\$ 0.251
<b>Costos de operación</b>				
costo fijo	\$ 77,600	3.7 %	4.5 %	\$ 0.012
costo de maquinaria	\$ 200,000	9.7 %	11.6 %	\$ 0.032
costos variables	\$ 946,204	45.7 %	54.9 %	\$ 0.151
Subtotal	\$ 1,223,804	59.1 %	71 %	\$ 0.196
<b>Utilidad neta</b>	<b>\$ 345,465</b>	<b>16.7 %</b>	<b>20 %</b>	<b>\$ 0.055</b>

Fuente: Interplast, S.A. de C.V., noviembre 1992.

El estudio anterior no pretende ser un análisis de costos para el proceso de reciclado mecánico en general. Aunque las características principales de este tipo de reciclado están contenidas en el sistema, este estudio sólo es válido para el sistema de reciclado que se especifica y debido a esto sólo es una aproximación del tipo de costos en los que se incurren y su monto.

*Rentabilidad del reciclado químico.*

En cuanto al reciclado químico, a continuación se presenta una comparación de la rentabilidad de cada uno de los diferentes procesos existentes<sup>2</sup>.

A diferencia de otros métodos, la metanólisis puede ser costosa. Los costos promedio de operación son de unos 0.28 USD/Kg (13 ¢ de USD/lb) teniendo la ventaja de que se puede procesar material de calidad baja. La hidrólisis es relativamente más barata, con costos de operación de unos 0.18 USD/Kg (8 ¢ de USD/lb), sin embargo el material a procesar tiene que estar separado por colores y libre de contaminantes.

<sup>2</sup> Fuente: Beverage Industry de EU, diciembre 1991.

Por último, la glicólisis al igual que la hidrólisis, es relativamente barata en cuanto a costos de operación que son del orden de 0.18 USD/kg (8 ¢ de USD/lb), sin embargo la alimentación debe ser de alta calidad, o sea sin materiales mezclados y sin impurezas como aluminio, papel, goma, etc. Además dado que la glicólisis produce una mezcla que es difícil de purificar completamente, debe ser mezclado el material a la vez con material virgen para dar ya el material reciclado.

La figura siguiente nos muestra como se van elevando los costos de producción de la hojuela de PETPC según la clase de tratamiento que se les aplique y variables de calidad del producto final como: pureza y uniformidad, valor potencial para uso final y disposiciones gubernamentales; así como la calidad de la materia prima que se vaya a utilizar.

	<b>METANOLISIS</b>	<b>HIDROLISIS</b>	<b>GLICOLISIS</b>
<b>Costo de operación en USD</b>	8 a 13 ¢/lb	3 a 8 ¢/lb	3 a 8 ¢/lb
<b>Requerimientos de materia prima</b>	De baja calidad (mezclas de color, papel, etc.)	De alta calidad (alimentación por color y libre de todo tipo de contaminación)	De alta calidad (alimentación por color y libre de todo tipo de contaminación)
<b>Compañías que emplean el procesos</b>	Hoechst Celanese y Eastman Chemicals	Ninguna	Goodyear
<b>Potencial</b>	Bueno	No bueno	Bueno

Tabla 5.4.1 Comparación de los procesos para cerrar el ciclo de reciclado.

Fuente: Beverage Industry, Diciembre 1991.

*Opciones de reprocesamiento del PETPC.*

Una variedad de tecnologías son viables para el reprocesamiento de PETPC que den como resultado productos comercializables. Algunas de las opciones de reprocesamiento más fácilmente comercializables son:

- 1) PETPC "como tal" (no reprocesado).
- 2) Extrusión/Repelletización.
- 3) Glicólisis/repolimerización.
- 4) Reconversión a materias primas /Repolimerización.

El uso del PETPC sin un reprocesamiento adicional es aplicado a la producción de artículos que no demandan todas las propiedades encontradas en el PET virgen. En el otro extremo, el PETPC debe ser reconvertido en sus materias primas originales bajo condiciones apropiadas mediante el reciclado químico.

Entre el extremo de no reprocesar al PET y el de reprocesamiento químico existen varias opciones. Una tecnología de reprocesamiento usada comercialmente lleva a la fusión por una extrusión/filtración del PETPC seguida de una repelletización. Este proceso adiciona un grado de purificación por remoción de impurezas por filtración y puede ser usado para preparar un polímero el cual puede ser convertido en botellas de calidad por una inyección-moldeo para aplicaciones en las cuales no se este en contacto con alimentos.

Los beneficios y defectos de los procesos anteriores necesitan ser examinados de acuerdo a su viabilidad económica. Esta evaluación es resumida en la figura 5.4.2 donde se muestra que si se usa el reprocesamiento (solamente se recicla) su costo de operación será bajo pero las expectativas de pureza y uniformidad son también serán bajas.

En el otro extremo, la reconversión del PETPC hacia sus materias vírgenes resulta de una alta pureza y uniformidad, pero obviamente el costo asociado con el reprocesamiento es alto. En el caso del proceso de extrusión/pelletización se puede hacer el esfuerzo de purificar más la resina para alguna aplicación especial, sin embargo se incurre en un mayor costo de reprocesamiento.

El otro caso es la glicólisis/repolimerización utilizada por Goodyear para fabricar REPETE, el proceso es capaz de maximizar la pureza y uniformidad del polímero así como el valor potencial del PETPC. Este proceso además minimiza el costo asociado al reprocesamiento para obtener el producto final.

Uno de los mayores retos de los productores de botellas de PET es el desarrollo de procesos que logren incorporar PETPC en la fabricación de envases de productos de consumo humano. La figura siguiente muestra una evaluación para cada posibilidad de uso del PETPC.

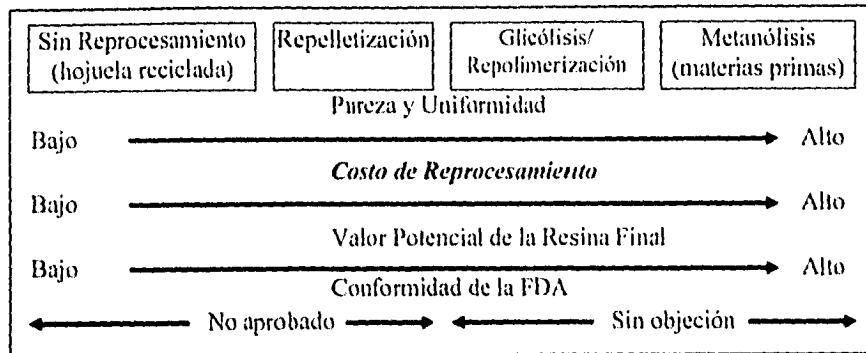


Figura 5.4.2 Comparación entre los diferentes procesos de reprocesamiento del PETPC.

Fuente: Emerging Technologies in Plastics Recycling, División de Polímeros, American Chemical Society, 1992

La probabilidad de producir una resina para envase de alimentos en el caso de reprocesamiento con una extrusión/filtración es baja. En el caso de la glicólisis, metanólisis e hidrólisis, la incorporación del PETPC es viable para empresas como Goodyear, que produce el REPETE con un contenido de hasta el 20% de PETPC con similares características mecánicas y de pureza y uniformidad, así como Eastman Chemicals en su experiencia con Coca Cola.

Como conclusión de este apartado, podemos decir que el costo de reprocesamiento de PETPC varía de acuerdo a la calidad de PET que se demande en el mercado, al tipo de tecnología con que cuente la empresa que lo produce, a las condiciones en que se recupere el PET disponible para reciclar y a la situación en que se encuentren los mercados tanto nacional como internacional.

La selección del tipo de empresa recicladora que se adapte mejor a las condiciones y necesidades del mercado que se pretenda cubrir será determinante para que lograr el éxito de reciclar el PET con beneficios para todos los involucrados, es por eso que no es posible comparar un tipo de empresa con otra sin antes no haber definido la necesidades del mercado en el que se quiera participar y si esta cuenta con todos los medios para llevar acabo su función de generar riqueza y participar en la solución al problema de los desechos sólidos.



#### **Análisis de costos asociados al proceso de producción de PETIC**

El siguiente capítulo se hará la propuesta del tipo de empresa que más se adapte a las necesidades del mercado en la Zona Metropolitana en base a las conclusiones que se han podido obtener del presente trabajo de tesis.

# **ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

## **Capítulo VI. Perfil de una planta recicladora de PETPC**

### **Objetivo:**

Establecer las directrices para un estudio de prefactibilidad de una planta de reciclado mecánico de PETPC.



### **6.1 Tipo de empresa.**

La decisión de participar en la industria del reciclado de PET, debe tomar en cuenta todos los factores económicos, técnicos y sociales que a lo largo de los capítulos anteriores se han mencionado, ya que de ello depende el éxito de un proyecto como la instalación de una planta recicladora de PET, que participe en el esfuerzo de las empresas mexicanas por tener un desarrollo sustentable ayudando a la conservación del medio ambiente.

Por lo anterior, se pretende dar un perfil del tipo de empresa recicladora de PET que tenga mayores oportunidades de éxito dadas las condiciones actuales del mercado nacional.

De ninguna forma pretende ser este capítulo un estudio técnico de factibilidad para la instalación de una planta recicladora de PET, *es sólo un perfil* de dicha planta, ya que el estudio completo requiere la evaluación de cada uno de los componentes de la planta, es decir, la forma detallada en la que opera, el financiamiento y la evaluación económica del proyecto; dejando lo anterior a trabajos posteriores sobre el tema. Hay que recordar que en este tipo de estudios, para los términos monetarios se presentan sólo cálculos globales de las inversiones, los costos y los ingresos, sin entrar en investigaciones de terreno.

Sin embargo, no por ello pierde seriedad y profundidad este capítulo, ya que la elaboración del perfil de la planta se hizo a partir de la información existente, el juicio común y la experiencia de los recicladores mexicanos, además, en general es una condición necesaria para la elaboración del anteproyecto de planta en el que se profundiza la investigación en fuentes primarias y secundarias, se detalla la tecnología que se empleará y se determinan los costos totales y la rentabilidad económica del proyecto, para después pasar al nivel más profundo y final que es el conocido como proyecto definitivo. Entonces, este estudio ayuda a tener una visión general sobre el éxito del proyecto y de esta forma evita gastos en estudios más profundos que no tendrían ningún resultado positivo al llevarlos a cabo.

## Perfil de una planta recicladora de PETPC

### 6.1.1 Factores que determinan el tipo de empresa.

La problemática del mercado nacional incluye los siguiente aspectos que resultan determinantes para poder definir el tipo de empresa:

- a) No existe demanda insatisfecha, la demanda interna que actualmente existe esta cubierta en un 100%. Los excedentes de producción de los recicladores mexicanos estan dirigidos a exportar, principalmente a los EU donde la demanda insatisfecha de PETPC es muy grande (capítulo V).
- b) Las hojuelas de PET reciclado son un material “casi nuevo” en el mercado nacional por lo que las industrias que las pueden utilizar como materia prima (empresas usuarias finales) desconocen su potencial comercial.
- c) Las empresas de reciclado que acondicionan el material, en su mayoría emplean desecho industrial, por lo que el mercado para estos desechos es el más competido.
- d) Actualmente no existen empresas recolectoras para recuperar todo el material disponible proveniente de los desechos de PET, por lo que las empresas que deciden reciclar los envases desechables están creando sus propios centros de acopio de materiales reciclables para su consumo, convirtiéndose no sólo en empresas acondicionadoras del material sino también recolectoras.
- e) Los desechos plásticos se pueden obtener a bajo o ningún costo. Las condiciones del mercado actual propician una cantidad de material factible de reciclar enorme, lo que ha provocado que las empresas de reciclado puedan elegir entre comprar el material o no. Esto ha dado como resultado que las empresas mexicanas prefieran el desecho industrial para evitarse problemas en la limpieza y clasificación de los desechos domiciliarios y de esta forma disminuir los costos de producción.
- f) No existe una legislación que regule el reciclado ni obligue a los productores de envases a hacerse responsables de los desechos que producen. Debido a esto, no se ha desarrollado una cultura del reciclado, lo que dificulta la participación de la sociedad.

- g) Actualmente no hay limitantes en cuanto a la tecnología para reciclar todo el PET disponible ya que es un material técnicamente fácil de reprocesarse.
- h) El reciclado químico requiere de una inversión muy grande por lo que sólo las grandes empresas químicas pueden llevarlo a cabo. Estas empresas requieren del abasto de grandes volúmenes de hojuelas que se obtienen por un inicial reciclado mecánico; debido a esto, es necesario el desarrollo de varias empresas recolectoras y acondicionadoras que sean proveedoras de materia prima para estas industrias. Actualmente en el país el volumen de PET recuperado hace que esta alternativa no sea factible de llevarse a cabo.
- i) El país se encuentra en una situación económica que dificulta cualquier tipo de inversión y el reciclado no es la excepción. Las inversiones se retrasan por falta de apoyos financieros y fiscales, lo que provoca que la atención se dirija hacia otros problemas más apremiantes para la población y los gobiernos, descuidando aspectos igual de importantes como el de la contaminación por desechos sólidos.

En base a los factores anteriores que condicionan la selección de un tipo de empresa, se describe a continuación un perfil de lo que sería una empresa de reciclado de PET en el mercado nacional.

#### *6.1.2 Selección del tipo de empresa.*

Como se describió en el capítulo IV, en la industria del reciclado coexisten cuatro tipos generales de empresas que son: recolectoras, acondicionadoras, intermediarias y usuarias finales. Cada una cumple una función importante en el desarrollo de la industria del reciclado, por lo que depende de la situación en que se encuentre el mercado que un tipo de empresa sea más rentable que otro.

La clasificación anterior no pretende limitar la selección del tipo de empresa a estas cuatro opciones ya que actualmente existen empresas que se pueden clasificar en dos o más de los cuatro tipos mencionados, es decir, existen empresas que son recolectoras, que acondicionan el material y que a la vez son usuarias finales, así como las que únicamente son intermediarias.

#### Perfil de una planta recicladora de PETPC

Es indudable que todas son necesarias y que serán factores como los mencionados en el apartado anterior los que determinarán el perfil de empresa adecuado para el mercado nacional en la situación actual.

Existen dos puntos de vista para estimular el crecimiento del mercado, uno consiste en aumentar la oferta del material (empresas recolectoras y acondicionadoras) y otro en estimular la demanda (empresas usuarias finales). Los dos puntos de vista son importantes ya que depende tanto de la demanda como de la oferta el desarrollo de esta industria, además de todos los demás factores que puedan existir en el mercado y se han estudiado a lo largo de este trabajo.

Pero debe ser la propia industria y no los gobiernos quienes establezcan las estrategias a seguir, ya que existen ejemplos a nivel mundial como Alemania que con el programa obligatorio de nombre "Punto Verde" estimuló la recolección de materiales reciclables, incrementando la oferta a un nivel tal que a logrado sobrepasar la capacidad instalada para su reciclado, ya que en este país no existe una infraestructura adecuada en la producción de artículos de uso final hechos con materiales post-consumo.

Otro ejemplo es el caso de EU, en donde son las empresas quienes conocen las necesidades del mercado y han establecido las estrategias conjuntas con los gobiernos, logrando tener una industria del reciclado en continuo crecimiento.

En las condiciones del mercado nacional se propone en un inicio participar en el estímulo de la oferta de material reciclado con una empresa recolectora y acondicionadora que utilice el reciclado mecánico para reprocesar al PET. Una empresa de este tipo presenta las siguientes ventajas.

- *Empresa recolectora y acondicionadora de reciclado mecánico.*

El tipo de empresa que se proponga debe de motivar a la sociedad y al gobierno a impulsar la cultura de reciclado por que de ello dependerá el aseguramiento de su mercado.

Las empresas recolectoras y acondicionadoras son las que motivan mayor interés por que le quitan el carácter de "desecho" a las botellas de PET y las transforman en materia prima para un gran número de industrias. La necesidad de que surjan muchas empresas como esta obedece a los siguientes factores:

- 1) Estas empresas provocan la toma de conciencia y ayudan a la solución de la contaminación por desechos sólidos, ya que por ejemplo, esto no se garantizaría si se propusiera una empresa usuaria final (aumentando la demanda), que en caso de no tener el suficiente material post-consumo para satisfacer su proceso de producción, utilizaría material virgen para tal efecto.
- 2) Se propone la combinación de empresas recolectora y acondicionadora por que actualmente no existen los mecanismos para recuperar los desechos de los envases (materia prima para las empresas acondicionadoras) y por esta razón, en México las empresas recicladoras en su mayoría se limitan sólo a reciclar el desecho industrial, dejando a un lado una importante fuente de materia prima como lo son los desechos de las botellas de PET. Las estrategias que se proponen para recolectar el material se detallarán en el apartado siguiente.
- 3) Todos los envases y desechos industriales que se quieran utilizar como materia prima en la elaboración de bienes de consumo final deben tener un previo reciclado mecánico o acondicionamiento. La calidad de este reciclado estará en función de los factores que se han descrito en el capítulo III, por lo que las empresas de reciclado mecánico son las proveedoras de materia prima para el resto de las empresas involucradas en la industria del reciclado.
- 4) La inversión inicial que requiere este tipo de empresas es muy flexible, es decir se puede acondicionar desecho industrial únicamente con un molino o tener todo un sistema automatizado que produzca hojuelas de PET provenientes de envases desechables.

Lo anterior es importante tomando en cuenta la situación económica del país, en la cual las fuentes de financiamiento son muy pocas por no decir que nulas, y los inversionistas no tienen la suficiente confianza como para arriesgar grandes cantidades de recursos.

#### Perfil de una planta recicladora de PETPC

- 5) Las empresas intermediarias que únicamente se dedican a vender y comprar materiales reciclables, requieren de un mercado ya desarrollado en donde existan un gran número de empresas que ofrezcan y demanden este material. Por lo que las intermediarias son consideradas como empresas complementarias de una industria ya desarrollada como en el caso de EU. En México hay que fomentar todavía una infraestructura sólida de reciclado.

Las características principales y la filosofía de la empresa se proponen a continuación:

- 1) La fuente principal de materia prima para el reciclado deben ser todos aquellos envases que su destino sea el flujo de los residuos sólidos, si es que se quiere contribuir de forma real a la solución de la contaminación provocada por este tipo de residuos.
- 2) La comercialización del material debe ser principalmente en forma de hojuela, ya que esta es la presentación que tiene mayor demanda en el mercado, aunque no se descarta la posibilidad de pelletizar el material, esta decisión va a depender más del monto de recursos económicos que se quieran y puedan invertir.
- 3) En un inicio, su producción debe estar enfocada hacia la exportación, principalmente al mercado de EU, pero colocando en el mercado nacional la mayor cantidad de hojuelas posibles. Es indudable que las hojuelas se venderán en donde se obtengan los mayores beneficios económicos, pero es responsabilidad de los recicladores mexicanos desarrollar el mercado interno donde se obtendrían los mayores beneficios sociales; esto se debe ver como una inversión que asegure el mercado local en un futuro.
- 4) Existe el problema de que hacer con los materiales que se recuperen y que no sean PET, como por ejemplo las tapas de las botellas de las bebidas carbonatadas que son de HDPE. En esta situación la empresa se debe comprometer a no regresar ningún material que pueda ser reciclado al flujo de los residuos sólidos y en el caso de que no se cuente con las posibilidades técnicas para llevar a cabo el reciclado, se debe asegurar que estos materiales lleguen a las empresas que garanticen el mismo.



- 5) Se debe promover entre la sociedad, la industria y el gobierno la legislación en favor del reciclado, previo acuerdo de las partes para lograr el efecto esperado de reducir la contaminación por desechos sólidos y hacer crecer a la industria nacional.

Para estimular la demanda de PET reciclado, se tienen múltiples alternativas. Muchas empresas que utilizan desechos plásticos en la elaboración de sus productos ya existen en el país y tienen mercados bien definidos (desde fabricantes de escobas hasta grandes empresas textiles) haciendo falta una mayor promoción por parte de las empresas acondicionadoras de PET para dar a conocer el potencial de mercado de este material, que como se analizó en el capítulo III tiene más de 60 aplicaciones comerciales posibles.

El perfil de empresa recolectora acondicionadora de reciclado mecánico que se ha descrito, no pretende generalizar la solución de la problemática de reciclado de PET, un diferente punto de vista lo tendrá el lector que sin duda participará en la solución del problema.

En el siguiente apartado se desarrollaran las estrategias a seguir para asegurar el abasto de materia prima para el reciclado en la empresa que se propone.

### *6.1.3 Estrategias para el suministro de materia prima.*

Las estrategias que se desarrollen para asegurar el suministro de materia prima de una empresa acondicionadora en México, tienen que tomar en cuenta la problemática que se ha analizado en el capítulo IV.

Existen varias alternativas para establecer un programa de recuperación de PET proveniente de los desechos de envases e industriales. La premisa en que se basa la propuesta es que los desechos se pueden obtener a bajo o ningún costo, debido a que hay mucho material disponible para reciclar tanto en desecho industrial como en los residuos domiciliarios.

#### Perfil de una planta recicladora de PETPC

El éxito que se tiene en la recuperación de las latas de aluminio y otros materiales consiste en que se le ha fijado un precio de compra. Como una necesidad que se ha detectado para lograr incrementar el rango de recuperación de PET, se sugiere establecer precios de compra por kg. de PET de acuerdo al grado de limpieza con que se entregue el material, ya que hay que tomar en cuenta la capacidad del sistema de reciclado para limpiar el mismo.

De lo anterior se desprenden las siguientes alternativas:

- a) Existen muchos grupos marginados de pepenadores que si se les estimula económicamente se lograría su integración al programa de recuperación de botellas de PET. Lo mismo sucedería con el personal sindicalizado de los servicios de limpia y demás personas involucradas en el manejo de desechos, que no ven en el reciclado de plásticos el beneficio ecológico sino una oportunidad para llevar un ingreso económico a sus familias.
- b) Se puede aprovechar la conciencia ecológica que algunos sectores de la población tienen acerca del reciclado de plásticos y la disposición correcta de los desechos sólidos, estableciendo centros de recolección de botellas de PET. Lo cual implicaría la creación de toda una organización adicional para establecer dichos centros.

La decisión de recuperar el resto de los materiales reciclables una vez que se han desarrollado los centros de recuperación, va a depender de la capacidad de la empresa para procesar estos, teniendo la opción de venderlos a centros especializados donde se asegure su reciclado.

- c) Participación con instituciones públicas y privadas así como con organizaciones civiles para ayudar al manejo de desechos plásticos que ellos mismos generan.
- d) Se podría seguir utilizando la tradicional fuente de materia prima en México, o sea, los desechos industriales, ya que la experiencia ha demostrado la eficiencia en el uso de este tipo de material. Se propone establecer acuerdos con las empresas productoras de envases para manejar sus "desechos plásticos".

A continuación se justificara de una manera cuantitativa la elección del tipo de empresa que se propone, mediante el cálculo del tamaño de la planta.

## 6.2 Tamaño óptimo de la planta.

El tamaño de un proyecto es su capacidad instalada<sup>1</sup>, y para nuestro caso se expresa en kilogramos de PETPC por año. En el proceso de instalación de una sistema de producción se distinguen tres formas de calcular la capacidad instalada, que son:

- a) Capacidad de diseño.- Es la tasa de producción de artículos estandarizados en condiciones normales a las que se realiza el diseño del proyecto, y esta en función de la demanda insatisfecha que se piense cubrir (volumen de producción ideal).
- b) Capacidad del sistema.- Producción máxima de un artículo específico o una combinación de productos que el sistema de trabajadores y máquinas puede generar trabajando en forma integrada (horas-hombre trabajadas, eficiencia de la maquinaria, etc.).
- c) Capacidad real.- Promedio que alcanza la producción de un artículo determinado en un lapso determinado de tiempo, teniendo en cuenta todas las posibles contingencias que se alcancen en la producción y venta del artículo (días no laborables, incumplimiento de proveedores, huelgas, accidentes, etc.).

En la práctica, determinar el tamaño de una planta de producción es una tarea limitada por factores como el tamaño de la demanda, la disponibilidad de las materias primas, la tecnología, los equipos y el financiamiento. A continuación se analizan cada uno de estos factores.

- 1) *Tamaño de la demanda.*- Es uno de los factores más importantes que condicionan el tamaño de un proyecto. La determinación del volumen de bienes o servicios producidos esta en función de la demanda insatisfecha en el mercado.

---

<sup>1</sup> Evaluación de Proyectos, Baca Urbina, México 1990.

#### **Perfil de una planta recicladora de PETPC**

En el mercado nacional la demanda de hojuelas de PETPC se satisface totalmente, por lo que la planta de reciclado de PET debe estar enfocada principalmente a cubrir el mercado estadounidense, sin descuidar el desarrollo de una industria nacional de productos de uso final fabricados con material reciclado.

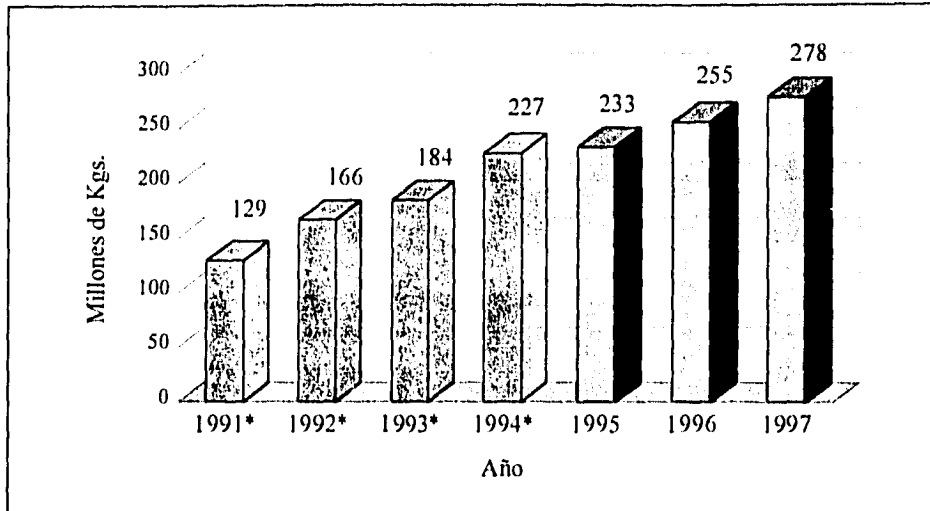
Esta decisión se debe a que EU representa el mercado más importante para las hojuelas de PETPC en el mundo, ya que ahí, la industria de uso final de materiales post-consumo se encuentra en desarrollo desde hace varias décadas.

La demanda total de este producto en EU sólo ha sido cubierta en menos del 50% durante los últimos 5 años y aunque cada año la oferta de PETPC es más grande, (apartado 5.3.2), la demanda insatisfecha para los próximos años será de cualquier forma mayor, como se vera más adelante.

En la gráfica 6.2.1 se observa que los niveles en la oferta de material reciclado aumentaran año con año, sin embargo, hay que tomar en cuenta que el uso de PET grado botella aumentará proporcionalmente.

Según dos puntos de vista diferentes, en los que se estudia la demanda potencial de PETPC (por Freedonia Group y NAPCOR, apartado 5.3.1), los niveles en la demanda insatisfecha son muy altos comparados con la oferta existente, como se muestra en la gráfica 6.2.2.

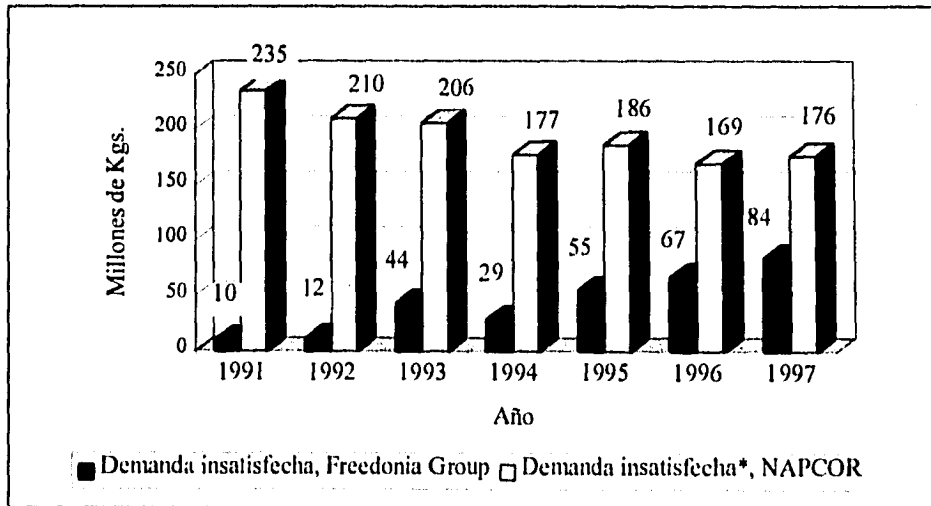
Tamaño óptimo de la planta



\* Datos reales. De 1995 a 1997 las cifras se calcularon por el método de regresión lineal.

Gráfica 6.2.1 Oferta de PETPC en EU.

\* Fuente: American Plastics Council, junio 1995.



\* La demanda insatisfecha de NAPCOR incluye usos tradicionales y envases para productos de consumo humano elaborados con un porcentaje de PETPC.

Gráfica 6.2.2 Demanda insatisfecha en EU, datos históricos y proyección.

#### Perfil de una planta recicladora de PETPC

En la gráfica anterior se observa que tomando en cuenta las estimaciones más conservadoras hechas por The Freedonia Group para usos tradicionales del PETPC, la demanda insatisfecha para 1995 será de 55,000 toneladas, lo cual quiere decir que si se pretende cubrir la totalidad de esta demanda, la producción tendría que ser de 151 ton/día; esta es una cifra que es difícil de cubrir por que se tendría que tener un rango de reciclado del 66 % del total disponible para 1995 (110,000 tons.) para satisfacer en su totalidad la demanda estadounidense y la local.

*II) Suministros e insumos.*- El abasto suficiente en cantidad y calidad de materias primas es un aspecto vital en el desarrollo de un proyecto. En nuestro caso, este factor es limitante ya que no existen proveedores regulares de botellas y desechos industriales de PET. Esto es importante de resaltar debido a que como se describió en el apartado 5.2, la adquisición de materia prima en México es todo un caos en cuanto a la calidad, la cantidad y el precio del PET recolectado.

*III) La tecnología y los equipos.*- La tecnología y los equipos limitan el tamaño del proyecto a un mínimo de producción para ser aplicables. En el caso de la producción de PETPC, esta tecnología sólo esta en función de la inversión, el costo de producción y el tipo de PETPC que se quiera producir según la demanda insatisfecha.

Para nuestro caso, existe una amplia gama de equipos y procesos que cubren la necesidad de producir PETPC de buena calidad por medio de reciclado mecánico, desde los totalmente automatizados hasta los que sólo limpian y muelen las botellas, lo cual quiere decir que no hay limitaciones técnicas para llevar a cabo el proceso de manera eficiente.

La elección de la tecnología utilizada en este proyecto debe estar enfocada a cubrir nuestra capacidad de diseño. Se recomienda que esta tecnología realice el reciclado mecánico de manera adecuada como para poder exportar el producto a EU y cubrir las especificaciones de mercado de los clientes.

*IV) El financiamiento.* - Si los recursos financieros son insuficientes para atender las necesidades de inversión es claro que la realización del proyecto es imposible. Por el contrario si los recursos económicos permiten escoger entre varios tamaños para los cuales existe una gran diferencia de costos y de rendimiento económico para producciones similares, la prudencia aconsejará escoger aquel tamaño que pueda financiarse con mayor comodidad y seguridad, y que a la vez ofrezca de ser posible, los menores costos y el mayor rendimiento de capital.

En nuestro caso, ya que existe flexibilidad en la selección de tecnología y los equipos, se puede considerar la implantación por etapas del proyecto (modernizando la planta poco a poco) como una alternativa viable.

*V) Organización.* - Cuando se ha hecho el estudio que determina el tamaño de planta, es necesario asegurarse que se cuenta no sólo con el suficiente personal, sino también con el apropiado para cada uno de los puestos de la empresa. En este sentido, la instalación de una planta de recolección y reciclado mecánico no tendría problema en cuanto a la selección de personal capacitado para operarla y dirigirla ya que existe en México el personal con la preparación suficiente para satisfacer esta necesidad.

De los cinco factores arriba mencionados, el suministro de materias primas y el financiamiento son los que limitan de manera importante el tamaño de la planta.

En cuanto a la demanda externa, ya se vio que es con mucho superior a la oferta, por lo tanto sólo resta determinar que porcentaje de esta demanda insatisfecha se puede cubrir tomando en cuenta la cantidad de materia prima que necesita ser suministrada y la inversión y costos de operación en tecnología y equipo.

Cuando la demanda es muy superior a la oferta se recomienda cubrir el 5% de la misma<sup>2</sup>, para el año de 1995 se calcula que en EU la demanda insatisfecha será de 55,000 toneladas lo que equivaldría a producir 7.5 ton/día de PETPC. Sin embargo, las cifras anteriores son hasta cierto punto difíciles de lograr ya que no se garantiza el suministro regular de esta cantidad de materia prima y la inversión inicial en tecnología para lograr estas cifras de producción sería muy alta.

<sup>2</sup> Evaluación de Proyectos, Baca Urbina, México 1990.

#### Perfil de una planta recicladora de PETPC

Para conocer en que medida se pueden proveer de materia prima las empresas recicladoras de PETPC y a si poder determinar la capacidad instalada de diseño para el tipo de empresa que se propone, es necesario conocer los volúmenes de PET que se pueden recuperar por región en el país para su reciclado. Desgraciadamente no existen en México estas estadísticas, situación que amerita un estudio aparte.

Tratando de cubrir la falta de información, se recurre al calculo indirecto de estos montos mediante indicadores económicos que tienen una relación estrecha con el volumen de envases de PET que se consumen por entidad federativa y de los cuales el INEGI proporciona estadísticas confiables.

Se seleccionaron dos indicadores tomando en cuenta el porcentaje de ingresos totales ya que comparar numero de empresas por entidad, personal ocupado, personal remunerado y otros resulta difícil por la diversidad de empresas que están involucradas en la industria de las bebidas y el sector comercial. Estos indicadores tienen una relación directa con el volumen de desechos de PET que se producen en cada estado por lo que nos pueden dar una aproximación de estas cifras. A continuación se describen los mismos:

- 1) Distribución de la industria de las bebidas por ingresos totales. Debido a que la principal aplicación del PET se da en la producción de envases para bebidas de consumo humano (apartado 3.1), resulta un indicador importante para conocer el volumen de envases de PET que se consumen por entidad.
- 2) Comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco por ingresos netos. El lugar donde se comercializan los productos envasados con PET, es determinante para conocer en que forma se encuentran distribuidos los desechos de envases y embalajes de este material en el territorio nacional.

Como resultado del análisis del censo económico del INEGI en 1993, se encontró que los porcentajes de participación por ingresos totales en la industria de las bebidas y en el comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco, se encuentran distribuidos de la siguiente forma:



ESTADO	INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS	COMERCIO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS, BEBIDAS Y TABACO.	
	Porcentaje de ingresos netos	Al por mayor. Porcentaje de ingresos netos	Al por menor, en establecimientos especializados. Porcentaje de ingresos netos.
Distrito Federal	13.12 %	23.09 %	15.16 %
Jalisco	12.16 %	8.93 %	8.51 %
Estado de México	11.21 %	8.77 %	11.13 %
Nuevo León	7.12 %	8.03 %	4.75 %
Sinaloa	1.92 %	4.15 %	2.75 %
Sonora	5.72 %	2.93 %	2.96 %
Puebla	5.66 %	3.47 %	3.58 %
Otros	44.57 %	40.63 %	51.16 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Tabla 6.2.1 Porcentaje de los ingresos netos derivados de la industria de las bebidas y del comercio de productos alimenticios, bebidas y tabaco, en México (1993).

Fuente : Censo Económico del INEGI, 1994.

Las cifras que presenta el INEGI nos pueden dar una aproximación de como se comporta el consumo de PET por estados en México, dejando en claro, en que estados se encuentra la mayor oferta de materia prima para las empresas recicladoras de PET.

De acuerdo con los porcentajes que se mostraron en la tabla anterior, se hace un promedio para los principales estados, en el cual se estima el monto de PET que es factible de recuperarse para su reciclado (consumo de PET grado botella por estado).

**Perfil de una planta recicladora de PETPC**

Estados	Aproximación del consumo de PET
Distrito Federal	17.12 %
Estado de México	10.37 %
Jalisco	9.87 %
Nuevo León	6.63 %
Puebla	4.24 %
Sonora	3.87 %
Sinaloa	2.94 %

Tabla 6.2.2 Aproximación del consumo de PET por estados principales (1993).

En las entidades que resultaron con los mas altos porcentajes se hace necesario un estudio más a fondo de sus características de mercado, para poder tomar decisiones que minimicen el riesgo que se corre al llevar acabo un proyecto como la instalación de una planta acondicionadora-recolectora de reciclado mecánico.

El tipo de estadísticas que se utilizaron no permite hacer precisiones que garanticen los volúmenes de recuperación de PETPC, sin embargo, y en base a los capítulos anteriores todo hace suponer que estos porcentajes no sólo se mantendrán sino que aumentarán.

Tomando como base el consumo total esperado para 1995 de 110,000 tons de PET y los porcentajes de la tabla anterior, se presenta una estimación del volumen de PET disponible de reciclarse por estado. De este volumen disponible, solo se pretende cubrir el 5 % del total para determinar la capacidad instalada de diseño en la empresa propuesta.

Estados	Aproximación del volumen de PETPC susceptible de reciclarse por estado en 1995		
	Toneladas/año		Kgs./día
	100 %	5 %	5 %
Distrito Federal	18,832	941	2,578
Estado de México	11,407	570	1562
Jalisco	10,857	542	1485
Nuevo León	7,293	364	997
Puebla	4,664	233	638
Sonora	4,257	212	580
Sinaloa	3,234	162	444

<sup>1</sup> El consumo aparente para 1995 es una aproximación por mínimos cuadrados de la tabla 5.2.1

Tabla 6.2.3 Volumen de PETPC factible de reciclarse de acuerdo con el consumo aparente.

De acuerdo a la demanda insatisfecha que se espera cubrir por exportaciones hacia EU (5% para 1995, 7,600 kg./día), la aproximación del volumen de PETPC factible de recuperarse para su reciclado resulta mucho menor, como se observa en la tabla 6.2.3. Por lo que el tamaño de planta que se recomienda por las limitaciones en el aprovisionamiento de materia prima es de 1000 kg./día y como posibles lugares para su instalación el DF, Estado de México, Jalisco y Nuevo León, los cuales se analizaran en el siguiente apartado (localización de planta).

Esta cantidad factible de recolectar es la que realmente determina la capacidad de diseño de la planta, por lo que es importante resaltar el hecho de que esta planta se propone también con un sistema de recolección que ayude a minimizar el problema del abasto, además siguiendo la filosofía de la tesis, la planta debe abarcar este aspecto tan importante del manejo de los residuos plásticos ya que de esta forma se garantiza que la materia prima suministrada sea la más adecuada para el proceso de producción.

### 6.3 Localización óptima de la planta.

La localización óptima de un proyecto es la que contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital (criterio privado) u obtener el costo unitario mínimo (criterio social)<sup>3</sup>.

El objetivo general de este apartado es sugerir los posibles sitios donde se instalaría una planta de reciclado de PET.

Como se vió en el apartado anterior, los principales estados con un mayor consumo de botellas de PET son el D.F., estado de México, Jalisco y Nuevo León respectivamente y es por esta razón que se analizará la posible instalación de la planta recolectora-acondicionadora en las principales ciudades de estos estados, ya que como se mencionó anteriormente, garantizar el abasto de materia prima para elaborar las hojuelas de PET es de vital importancia para el éxito del proyecto y es en las grandes ciudades donde este abasto se podría cumplir.

Además, en el estudio comparativo se tomó en cuenta también un estado fronterizo de la república mexicana (Sonora), debido a que, entre otras cosas existe una cercanía con nuestros posibles clientes en el sur de los EU, el volumen de PETPC susceptible de reciclarse es de los más altos en el país y la filosofía de este trabajo también es promover la descentralización de las actividades industriales y comerciales en México.

Existen varios métodos para determinar la localización óptima de una planta, uno de esos métodos es el *cuantitativo de Vogel* en donde no se consideran más efectos para la localización que los costos de transporte tanto de materias primas como de productos terminados. El problema del método consiste en reducir al mínimo posible los costos de transporte destinado a satisfacer los requerimientos totales de demanda y abastecimiento de materiales. Entre sus ventajas esta que es un método preciso y totalmente imparcial; sin embargo, como desventajas se encuentran que los costos de transporte son una función lineal del número de unidades embarcadas, los costos unitarios de transporte no varían de acuerdo con la cantidad transportada, la oferta y la demanda deben ser iguales y no considera otros factores para la localización más que los costos de transporte.

---

<sup>3</sup> Evaluación de proyectos, G. Baca Urbina, México, 1992.

Por lo anterior, este método no se adapta a las características de nuestro trabajo y no será utilizado para determinar la localización óptima del proyecto. Sin embargo, el método que más se apega a las condiciones para reciclar PET en México es el *método cualitativo por puntos*.

*Método cuantitativo por puntos.*

Consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes para la localización. Esto deriva en una comparación cuantitativa de diferentes sitios. El método permite ponderar factores de preferencia para el investigador al tomar la decisión. En nuestro caso se aplicó el siguiente procedimiento para jerarquizar los factores cuantitativos:

- 1) Se desarrolló una lista de factores relevantes.
- 2) Se asignó un peso a cada factor para indicar su importancia relativa (de 0 a 10), este peso asignado se determinó en base al análisis que se realizó de la problemática del reciclado de PET en este trabajo y al criterio de los autores.
- 3) Se calificó a cada sitio potencial de acuerdo con la escala asignada y se multiplicó la calificación por el peso.
- 4) Se sumó la calificación en cada sitio y se eligió el de máxima puntuación.

Para nuestro caso, en la tabla 6.3.1 se muestran los factores relevantes, los pesos asignados, la calificación y la suma final de cada una de las ciudades analizadas tomando en cuenta los datos del volumen de PETPC susceptible de reciclarse por estado (apartado anterior) y los datos proporcionados por los Anuarios Estadísticos de los estados de México, Jalisco, Nuevo León, Sonora y el D.F que publicó el INEGI en 1994.

La ventaja del método arriba mostrado es que es sencillo y rápido. Aunque pudiera pensarse que una de las principales desventajas del método es que tanto el peso asignado, como la calificación que se otorga a cada factor relevante dependen exclusivamente de las preferencias del investigador, nosotros hemos tratado de ser lo más imparciales posibles realizando la consulta de los datos estadísticos oficiales por estado y tomando en cuenta las entrevistas con los empresarios de la industria del reciclaje en México y en suma la experiencia que ha dejado la elaboración de este trabajo.

No.	Factor	Ponder.	Herm.	Son.	Edo. Méx.		D. F.		Mont.	N.L.	Guad.	Jal.
			C.*	C.P.*	C.	C.P.	C.	C.P.	C.	C.P.	C.	C.P.
1	Disponibilidad de materia prima.	1	6	6.0	10	10	10	10	8	8	10	10
2	Cercanía a los mercados.	0.90	10	9.0	6	5.4	6	5.4	8	7.2	8	7.2
3	Cultura de reciclado gubernamental y social.	0.90	10	9.0	6	5.4	6	5.4	8	7.2	6	5.4
4	Disponibilidad y costos de embarques.	0.90	6	5.4	8	7.2	6	5.4	8	7.2	6	5.4
5	Filosofía de descentralización.	0.90	10	9.0	4	3.6	2	1.8	8	7.2	4	3.6
6	Competencia en el mismo ramo de producción.	0.80	8	6.4	6	4.8	6	4.8	8	6.4	8	6.4
7	Legislación.	0.80	4	3.2	4	3.2	4	3.2	4	3.2	4	3.2
8	Densidad de población.	0.80	4	3.2	8	6.4	10	8.0	8	6.4	8	6.4
9	Cercanía de empresas de la industria del envase.	0.80	4	3.2	10	8.0	8	6.4	8	6.4	6	4.8
11	Nivel socioeconómico.	0.70	6	4.2	6	4.2	10	7.0	8	5.6	8	5.6
12	Facilidad de financiamiento.	0.70	4	2.8	8	5.6	10	7.0	8	5.6	6	4.2
13	Hábitos de consumo	0.60	8	4.8	6	3.6	6	3.6	10	6.0	6	3.6
14	Actitud de la comunidad hacia la instalación de la planta	0.60	10	6.0	8	4.8	6	3.6	8	4.8	6	3.6
15	Tecnología.	0.50	8	4.0	10	5.0	10	5.0	10	5.0	10	5.0
16	Disponibilidad de una Universidad con infraestructura para investigación y consulta.	0.50	6	3.0	6	3.0	10	5.0	8	4.0	6	3.0
17	Costo del agua.	0.50	6	3.0	8	4.0	8	4.0	8	4.0	8	4.0
18	Servicios.	0.40	8	3.2	8	3.2	10	4.0	10	4.0	10	4.0
19	Costo de la M.O.	0.40	8	3.2	6	2.4	6	2.4	8	3.2	8	3.2
20	Disponibilidad de tratamiento de aguas.	0.40	6	2.4	8	3.2	8	3.2	8	3.2	6	2.4
	<b>TOTAL</b>			<b>91.0</b>		<b>93.0</b>		<b>95.2</b>		<b>104.6</b>		<b>91.0</b>

C\*= Calificación

C.P.\*= Calificación ponderada

Tabla 6.3.1 Factores tomados en cuenta para la localización de planta

Fuente: Anuario estadístico de c/u de los estados analizados, Edición 1994, INEGI.

#### Localización óptima de la planta

El análisis anterior dió como resultado que la ciudad de Monterrey N.L. sea la más propicia para la instalación de la empresa acondicionadora-recolectora, recomendando producir 1000 Kg./día (capacidad de diseño) sabiendo que en esta ciudad se requerirá de un mayor esfuerzo para recolectar la materia prima necesaria, ya que para satisfacer esta demanda de materia prima se tendría que recolectar el total susceptible de reciclarse en todo el estado.

Este resultado se dio debido a que la ciudad de Monterrey N.L. cumple con las características más importantes que nosotros establecimos para la ubicación de la planta como: cercanía con los mercados, la densidad y hábitos de consumo de la población, cuenta con todos los servicios necesarios para el establecimiento de una empresa de este tipo y el consumo de bebidas con envases de PET es alto además de tener una perspectiva importante de crecimiento para los próximos años.

Todo lo descrito en este trabajo hasta el momento sienta las bases para llevar a cabo el *anteproyecto de la planta acondicionadora-recolectora de PETPC* y tomar la decisión por parte de los inversionistas de otorgar el financiamiento y apoyo legal para llevar a cabo el proyecto definitivo, una vez detallados la tecnología, los costos y la rentabilidad económica del mismo.

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO  
DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE  
SOLUCIÓN**

**CONCLUSIONES**





## CONCLUSIONES

La búsqueda de una mejora en la forma de vida de las sociedades actuales esta determinada por una creciente industrialización, esto ha provocado que surjan problemas como la contaminación por desechos sólidos, esta situación ha obligado al desarrollo de nuevos materiales para tratar de disminuirlos.

En este sentido, los plásticos han venido a revolucionar nuestros hábitos de consumo y en especial el PET grado botella ha venido a ocupar el lugar más importante dentro de los materiales de envase para bebidas y productos alimenticios y lo seguirá haciendo por lo menos en la próxima década, ya que ofrece múltiples ventajas, técnicas, económicas y ambientales comparadas con las de los materiales tradicionales de envase: vidrio, aluminio, cartón, PVC, etc. a los que ha desplazado durante los últimos 15 años. Esto prueba que en la práctica, el empleo de materiales poco nocivos al medio ambiente desplazará a los que no reúnan esta cualidad, por muy benéfico que resulte su uso en cuanto a costos.

Existen varias alternativas para el manejo de los desechos sólidos: reducción de origen, incineración con recuperación de energía, reuso, o reciclado, pero sin duda los mayores beneficios se logran en este último, ya que involucra soluciones a otros problemas igual de importantes como el desempleo, la reducción de costos en las empresas, productos de uso final más baratos y disminución en el consumo de combustibles. Todo esto traerá como consecuencia una mejora en el nivel de vida de las sociedades que tengan una cultura de reciclado desarrollada.

La legislación que promueva el correcto manejo de los desechos sólidos no es sólo una alternativa para impulsar a la industria del reciclado en México; para países como el nuestro se convierte en una necesidad si es que se quieren aprovechar eficazmente los escasos recursos con los que se cuenta y realmente alcanzar un desarrollo sustentable con respeto al medio ambiente. Un ejemplo de lo anterior se da en EU, Canadá y Europa donde la ley promueve e incentiva a los recicladores de plásticos en general y PET en particular para que lleven a cabo su tarea de manera eficiente desde el punto de vista económico y ambiental.

**En nuestro país existen iniciativas alentadoras por parte de empresas privadas y el gobierno para establecer un sistema de gestión integral para el manejo de los desechos sólidos, en el cual el reciclado es parte fundamental; sin embargo, también existe una corrupción enorme en el negocio de la basura que involucra a autoridades, funcionarios, trabajadores y líderes de sindicatos que obstaculizan el ampliar los beneficios de un manejo de los desechos sólidos eficiente hacia otros sectores de la población.**

**A pesar de todos los problemas económicos, políticos y sociales, la industria del reciclado en México ha salido adelante y tiene perspectivas de crecimiento importantes. Para lograr el desarrollo de una industria de reciclado en México eficiente y rentable, que tome en cuenta el impacto ambiental, deben seguirse a nuestro juicio las siguientes directrices:**

- Desarrollar un mercado interno estable para productos de uso final elaborados con materiales reciclables.**
- Fomentar la legislación.**
- Promover un cambio de cultura de toda la sociedad para que los programas integrales de manejo de desechos sólidos, dentro de los que se encuentra el reciclado, tengan éxito.**

**La situación del país requiere de la toma de acciones inmediatas que ayuden a resolver los grandes problemas nacionales: educación, desempleo, deterioro de vida de la población, inseguridad, contaminación, etc. El desarrollo de una industria del reciclado puede ayudar a la solución de estos problemas, por lo que el mayor obstáculo al que se enfrenta esta industria es la falta de difusión que motive a la sociedad en su conjunto a un cambio cultural en favor del reciclado, esperamos que este tipo de trabajos ayuden a resolver esta situación.**

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO  
DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE  
SOLUCIÓN**

**BIBLIOGRAFÍA**



**BIBLIOGRAFÍA.**

- Baca Urbina G. Evaluación de Proyectos (Análisis y Administración del Riesgo).  
Edit Mc Graw Hill. México 1993.
- Arroyo Miguel Dr. Recuperación y reciclado de residuos sólidos plásticos.  
Curso de capacitación para personal de la industria, ANIPAC.
- Careaga Juan Antonio Dr. Manejo y Reciclaje de Envases y Embalajes.  
Serie de monografías No. 4. INE, SEDESOL, México, 1993.
- De Gortari Eli Dr. El método dialéctico.  
Colección 70, México 1970.
- G. D. Andrews, P. M. Subramanian. Emerging Technologies in Plastics Recycling.  
American Chemical Society, Symposium Series No. 513. Washington, DC  
1992.
- Hidalgo Peralta y Sánchez Santiago. Diagnóstico de la Situación Económica de los  
Plásticos de Ingeniería PET y PBT en México.  
Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Química. México 1991.
- García Santiago Ing. Posibilidades y tendencias del reciclado de PET.  
APREPET. México, junio de 1995.
- McGregor Peter. Australian study topyc: "People and plastics".  
Center for economic education, Albert Park , Australia 1992.
- Velázquez, Carrillo y Gutiérrez. Análisis de Factibilidad para la Implantación de  
una Planta Reprocesadora de Plástico  
Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Ingeniería. México 1994.
- Anuario estadístico de la Industria Química.  
ANIQ, 1994.

Anuario estadístico del Distrito Federal.  
INEGI, México 1994.

Anuario estadístico del estado de Jalisco.  
INEGI, México 1994.

Anuario estadístico del estado de Nuevo León.  
INEGI, México 1994.

Anuario estadístico del estado de Sonora.  
INEGI, México 1994.

Anuario estadístico del estado de México .  
INEGI, México 1994.

Censo Comercial y de Servicios.  
INEGI, México 1994.

Censo Industrial de Industrias Manufactureras.  
INEGI, México 1994

Eastman polyesters and enviroment; A succes story.  
Eastman Kodak Company, 1992.

The enviromental impact of soft drink delivery systems; A comparative analysis.  
NAPCOR, 1992.

57 items made from recycled PET.  
Heinz, EU 1990.

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO  
DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE  
SOLUCIÓN**

**Apéndice I. Directorio de empresas recicladoras de  
PETPC en EU**



**Apéndice I. Directorio de empresas recicladoras de PETPC en EU.**

**Catentation Inc.**

1360 Velp Ave.  
Green bay, Wis. 54303  
(414) 494-7711  
HDPE natural y con mezcla de color en  
hojuela y pellets; PET transparente y  
verde en hojuela.

**Day Products.**

540 Pedricktown Road  
P.O. Box 313  
Bridgeport, N.J. 08014  
(609) 467-5522  
PET verde y transparente hojuela y  
pellets; HDPE mezclas de color bases de  
botellas en pellets y hojuelas.

**Denton Plastics.**

4427 N.E. 458th Ave.  
Portland, Ore. 97230  
(503) 257-9945  
HDPE negro y mezclas de color, ABS,  
PS, PP natural y mezclas de color, PET  
transparente, PET verde limpio.

**Eaglebrook Plastics Inc.**

2600 W. Roosevelt Road  
Chicago Ill. 60608  
(312) 638-0006  
HDPE natural y mezclas de color en  
hojuela y pellets; PET transparente y  
verde en hojuela.

**Earth Care Products of TN.**

Sharon Industrial Park  
P.O. Box 537  
Sharon, Tenn. 38255  
(901) 456-2681  
HDPE natural y mezcla de color hojuela  
y pellets; PET transparente y verde en  
hojuela.

**East Coast Recycling Assoc. Inc.**

1801 Feelea Road  
Milville, N.J. 08332  
(609) 327-8888  
HDPE natural y mezcla de color hojuela  
y pellets; PET transparente y verde en  
hojuela.

**Enviroplast Inc.**

1071 Merchants Lane  
Olive, Va. 23129  
(804) 784-4056  
PET transparente y verde en hojuelas.

**FDA Plastics Recycling**

2001 N. 22nd St.  
Decatur, Ill. 62526  
(217) 429-3373  
HDPE, PET en hojuelas y pellets.

**Gulf National Trading Co.**

P.O. Box 211  
Vancouver Wash. 98666-0211  
(206) 750-8868  
HDPE natural y mezclas de color en  
hojuela y pellets; PET transparente y  
verde en hojuela.

**Hoechst Celanese Corp.**  
Textile Fibers Group  
P.O. Box 5650  
Spartanburg, S.C. 29304-5650  
(800) 845-7597  
PET verde hojuela y pellets

**Image Industries Inc.**  
Route 1 Box 193-B  
Summerville, Ga. 30747  
(706) 857-6481  
PET trasparente y verde en hojuela y pellets

**Ingenuity Corp.**  
North Road  
P.O. Box 203  
Barnard, Vt. 05031  
(802) 234-5198  
PET, PET verde, Noryl/PPO, Abs, PC, HDPE, PS, PP; PVC hojuela, LDPE, LLDPE, PP en pellets.

**Jhonson Controls Inc.**  
43500 Gen-Mar Drive  
Novi, Mich. 48375  
(810) 347-7590  
PET trasparente y verde en hojuela y pellets

**Lavico Plymers (USA) Inc.**  
1579 E. U.S. 6  
Otawa, Ill. 61350  
(815) 433-1368  
HDPE natural y mezclas de color en hojuela y pellets; PET transparente y verde en hojuela; EPS pellets; PS natural y mezclas de color.

**M.A. Industries Inc.**  
303 Dividend Drive  
Peachtree City, Ga. 30269  
(404) 487-7761  
HDPE natural en pellets; PET, PP en pellets.

**Martin Color-Fi Inc.**  
P.O. Box 469  
Edgefield, S.C. 29824  
(800) 637-7137  
PET trasparente y verde en pellets.

**Midwest Iron & Metal Co. Inc.**  
700 S. Main  
Hutchinson, Kan. 67504  
(316) 662-0551  
HDPE natural y mezclas de color en hojuela; PET transparente y verde en hojuela.

**MR Plastics Recyclers Inc.**  
300 E. Main  
Ontario, Calif. 91762  
(909) 391-2673  
HDPE natural y mezclas de color en hojuela; PET transparente y verde en hojuela; PP; PVC.

**New Age Plastics Recyclers Inc.**  
2301 W. Sample  
Building 3, Suite 1A  
Pompano Beach, Fla. 33073  
(305) 968-0156  
HDPE, PET, PVC, ABS, PP, PS, LDPE.



Apéndice I. Directorio de empresas recicladoras de PETPC en EU

**Orion Pacific Inc.**

2525 E. Pearl St  
Odessa, Texas 79761  
(915) 332-0058

HDPE natural y mezclas de color en hojuela; LDPE transparente y mezclas de color; PET transparente verde y negro en hojuela.

**WTE Recycling/Star.**

136C Fuller Road  
Albany, N.Y. 12205  
(518) 459-1080  
PET, HDPE.

**Plastics Recyclers South East Inc.**

118 E. Moulton St.  
Decatur, Ala. 35601  
(205) 351-2469

HDPE natural y mezclas de color en hojuela; PET transparente y verde en hojuela.

**Polygon Industries Inc.**

215 W. Pomona Blvd.  
No. 210  
Monterrey Park, Calif. 91754  
(213) 722-2223  
PVC, PET, PP, HDPE, LDPE, LLDPE,  
ABS, HIPS, PS, PC, acrilic.

**Resource Recovery Inc.**

301 N. Elm St.  
Tallulah, La. 71282  
(318) 574-5240  
HDPE, PET hojuela y pellets.

**St. Jude Polymer Corp.**

1 Industrial Park Frackville, Pa. 17931  
(717) 874-1220  
PET transparente y verde pellets y en estado solido.

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL RECICLADO  
DE PET Y PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE  
SOLUCIÓN**

**ÍNDICE DE ABREVIATURAS**



**Índice de abreviaturas.**

- ¢.- Centavos.  
 °C.- Grados celsius.  
 AIC.- Automated Industrial Control.  
 APREPET.- Asociación para promover el reciclado de PET.  
 AT.- Ácido tereftálico.  
 BIRP.- Beverage Industry Recycling Program.  
 BTU.- Unidad térmica británica.  
 CaD.- Dolares canadienses.  
 CNCA.- Consejo nacional para la cultura y las artes.  
 Co.- Cobalto.  
 CO.- Monóxido de carbono.  
 CO<sub>2</sub>.- Dióxido de carbono.  
 CONACYT.- Consejo nacional para la ciencia y la tecnología.  
 COOH.- Grupo carboxilo.  
 CPT.- Continental PET Technologies.  
 dl.- Decilitros.  
 DMT.- Dimetil tereftalato.  
 DSM.- Desechos sólidos municipales.  
 EG.- Etilen glicol.  
 eq.- Equivalentes.  
 EU.- Estados Unidos.  
 FDA.- Foods and Drugs Administration.  
 Fe.- Hierro.  
 grs.-Gramos.  
 hr.- Hora  
 INE.- Instituto nacional de ecología  
 INEGI.- Instituto nacional de estadística geográfica e informática.  
 Kg.- Kilogramos.  
 Kj.- Kilojoules.  
 Lb.- Libras.  
 lts.- Litros.  
 m<sup>2</sup>.-Metros cuadrados.  
 Mg.- Magnesio.  
 ml.- Mililitros.  
 Mn.- Manganeso.  
 MSS.- Magnetic separation system.  
 Na.- Sodio.  
 NAPCOR.- National association of plastic container recovery.  
 ND.- No detectado.  
 P.- Fósforo.  
 PEN.- Naftalato de polietileno.  
 PET.- Polietileno tereftalato.  
 PETPC.- Polietileno tereftalato post-consumo.  
 PEVs.- Puestos de entrega voluntaria.  
 PP.- Polipropileno.  
 ppm.- Partes por millón.  
 PS.- Poliestireno.  
 PVC.- Policloruro de vinilo.  
 RECIMEX.- Reciclados de México.  
 RS.- Residuos sólidos.  
 RSM.- Residuos sólidos municipales.  
 Sb.- Antimonio.  
 SEDESOL.- Secretaria de desarrollo social.  
 Si.- Silicio.  
 SPI.- Sociedad de la industria de los plásticos.  
 SPP.- Separador de fase sólida.  
 Tc.- Temperatura de cristalización.  
 Tg.- Temperatura de transición vítrea.  
 Ti.- Titanio.  
 TLC.- Tratado de libre comercio.  
 Tm.- Temperatura de fusión.  
 Tons.- Toneladas.  
 TPA.- Ácido tereftálico.  
 UK.- Reino Unido.  
 USD.- Dolares de Estados Unidos.  
 UV.- Ultra violeta.  
 VI.- Viscosidad intrínseca.  
 yd<sup>2</sup>.- Yardas cuadradas.  
 ZMCM.- Zona metropolitana de la ciudad de México.