

4. ANÁLISIS LITERARIO

4.1. Generalidades del tereftalato de polietileno (PET)

Comúnmente conocido por sus siglas PET o PETE, su denominación técnica es tereftalato de polietileno. El PET es un plástico muy resistente y fácil de trabajar pues permite una gran libertad en el diseño; gracias a su estructura molecular, es irrompible (PET Containers Recycling Europe, PETCORE, 2009). El PET es una forma fuerte pero ligera de poliéster transparente que se utiliza para hacer envases de refrescos, jugos, bebidas alcohólicas, agua, aceites comestibles, productos de limpieza y otros alimentos y aplicaciones no alimentarias (PETCORE, 2009).

Fig. 1. Símbolo de identificación del PET en relación a otros plásticos¹



De acuerdo con Vest (2003), el PET es conveniente para la producción de contenedores para bebidas porque: (1) es claro y flexible, pero rígido; (2) resistente a la dispersión; (3) inerte, neutral en sabor; (4) de peso ligero; (5) reciclable; (6) con una buena barrera contra la humedad y el gas, cuanto mayor sea el grado de cristalización, menor es la permeabilidad al gas.

4.1.1. Historia del PET y su aplicación para agua embotellada

El PET se desarrolló por primera vez para su uso en fibras sintéticas por la British Calico Printers en 1941, comenzó a ser utilizado como películas de envases a mediados de 1960 y a principios de 1970 fue desarrollada comercialmente la técnica biaxial orientada para soplar botellas (PETCORE, 2009). La primer botella de PET se produjo en 1978 (Selke, et

¹ (Gestión Integral de Residuos, 2010)

al., 2004). Las razones por las cuales, a inicios de los años 80, las compañías migraron al uso de botellas de PET varían desde la efectividad en el costo, la sustitución de envases de vidrio retornables y mejora de situaciones de manejo en planta y piso de venta (Koss, 2009).

Se puede observar que en los años 70s el agua embotellada era una curiosidad, en los 80s una moda y para las generaciones de los 90s un estilo de vida obligatorio (Diament, 2009). Es notable cómo fue incrementando el consumo a lo largo de su surgimiento; en Estados Unidos, una persona consumía en promedio 4.5 galones de agua embotellada en 1984 y 17 galones en 1999 (Chaidez, 2002). El máximo crecimiento de venta de agua embotellada ocurrió de 1998 a 1999 cuando la categoría presentó un crecimiento global del 12.1 % según datos de la revista Beverage World (BW) (2007) con datos de Beverage Marketing Corporation (BMC).

El término agua embotellada es definida por la U.S Food and Drug Administration (FDA) como *"agua que es destinada para consumo humano y que es sellada en botellas u otros contenedores sin ningún ingrediente agregado excepto que puede contener agentes antibacteriales adecuados y no peligrosos"* (Robertson, 2006, pp. 448-449).

4.2. Impactos ambientales que genera el PET en su ciclo de vida como botella de agua

El agua embotellada en PET no es completamente inofensiva para el medio ambiente, el producir, reciclar o incinerar botellas de agua implica consumo de energía y emisiones al aire y partículas de contaminación del agua; el transporte del agua embotellada a través del mundo también implica consumo de energía así como de combustible; la producción de botellas de plástico puede causar la liberación de ftalatos y otros subproductos de la producción de plástico en el agua, aire u otras partes del medio ambiente (Ferrier, 2001) como por ejemplo el océano y el suelo.

Según Foolmaun y Ramjeawon (2008) los impactos que genera el consumo de PET se dividen en las siguientes categorías: eco-toxicidad terrestre, toxicidad humana, formación de ozono foto químico (POCP por sus siglas en inglés), calentamiento global (GWP por

sus siglas en inglés) y acidificación; lo anterior tomando en cuenta que un gran porcentaje de las botellas de PET descartadas se mezclan con los desechos domésticos y terminan en el relleno sanitario ocupando un lugar del medio ambiente, asimismo, una cantidad considerable termina depositada en el suelo y océano debido al manejo irresponsable de la botella descartada, una más termina incinerada y otra fracción aun menor es reciclada.

4.2.1. Extracción

Para producir el PET se requiere la extracción de petróleo crudo y gas natural, posteriormente se crea mediante la suma de varios aditivos químicos (Asociation of Plastic Manufacteres in Europe, APME, 2010). Para producir 1kg de PET es necesario aproximadamente 1.9 kg de petróleo crudo y el consumo total de energía utilizada en la producción de PET es de 23 kWh/kg de PET (Vest, 2003).

Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo crudo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. En el proceso de producción del PET se elimina metano como subproducto (Reyes, 2009).

4.2.2. Producción

El principal uso del PET se representa en las botellas; la fabricación de una botella de PET se inicia desde la materia prima: etileno y paraxileno; los subproductos de estas dos sustancias (glicol de etileno y ácido tereftálico) se hacen reaccionar para obtener la resina PET, la cual se encuentra en forma de pequeños cilindros llamados *pellets*, ésta se funde y se inyecta en un molde para hacer una preforma; la preforma (una especie de tubo de ensayo más corto que la botella pero con paredes más gruesas) a continuación es soplada; durante ésta fase, se sopla alta presión de aire en la preforma, lo que le permite tener la forma exacta del molde; el producto final es una botella transparente, fuerte y ligera (PETCORE, 2009).

| 4. ANÁLISIS LITERARIO

En 2008, Foolmaun y Ramjeawon realizaron un estudio de evaluación del ciclo de vida de botellas de PET en la isla de Mauritius y los resultados de la evaluación del impacto indicaron que el más alto impacto ambiental ocurrió durante la etapa de ensamble y uso de las botellas de PET, debido a la relativamente alta utilización de combustible y minerales; los datos muestran que durante la producción de resina de PET, además del petróleo, es usada una substancial cantidad de minerales (hierro, piedra caliza, KCl, bauxita, azufre, NaCl); los dos procesos que contribuyeron con alrededor del 90% del total del impacto ambiental fueron principalmente generación de electricidad con petróleo en Mauritius y la producción industrial de comprimidos de PET en Sudáfrica.

Los resultados también revelaron que el transporte contribuye muy poco (0.01%) del total de la carga ambiental mientras que la fase de descarte contribuye solo en un 5% del total del impacto ambiental, la explicación es que las botellas de PET no se degradan tan fácilmente y es por ello que no emiten gas metano a la atmosfera (Foolmaun y Ramjeawon, 2008).

En la Fig. 2 se describen las etapas por las cuales se desarrolla la botella de agua de PET en su ciclo de vida desde la extracción de los recursos naturales necesarios para su fabricación hasta su disposición final (Aguirre y Gabiña, 2005).

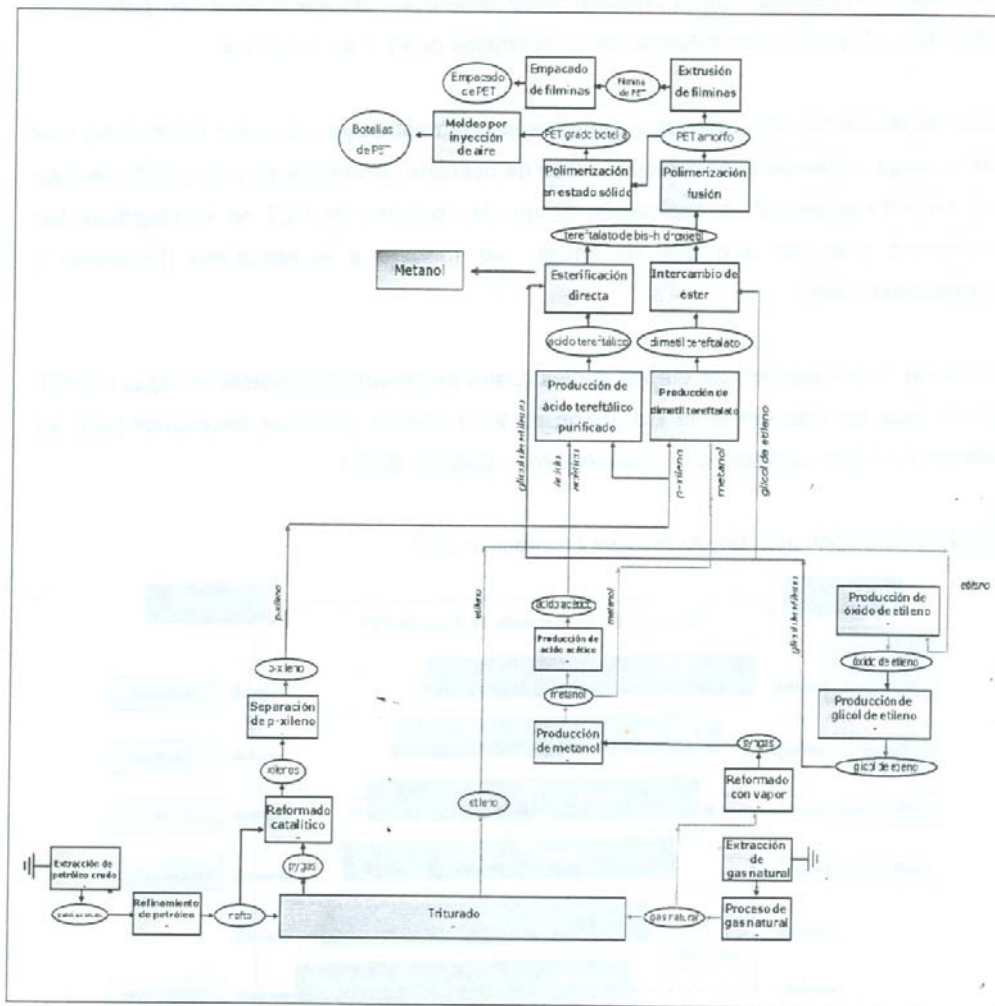
Fig. 2. Ciclo de Vida de la Botella de Agua Envasada en PET



| 4. ANÁLISIS LITERARIO

La Fig. 3 consiste en un diagrama que muestra el flujo de materiales para la producción de botellas de PET. Se muestra cada etapa de transformación de los materiales en el ciclo de producción de PET desde la extracción, hasta el producto terminado: las botellas de PET. El diagrama considera los dos escenarios de producción de PET ya sea a base de ácido tereftálico o dimetil de etileno.

Fig. 3. Diagrama de Flujo de Materiales para producción de botellas de PET²



² (Association of Plastic Manufactures in Europe, APME, 2010)

4.2.3. Distribución

Después de la producción de la botella de agua, se necesita energía para mover el producto terminado hacia los mercados; debido a que el agua es pesada (una tonelada por metro cúbico) la energía asociada con el transporte del agua embotellada es significativa; el monto total de energía requerida para el transporte depende de dos factores: la distancia desde la planta embotelladora hasta los mercados y el medio de transporte (Gleick y Cooley, 2009).

La Tabla 1 resume los valores de intensidad de energía típicos de transporte para los principales modos de transporte de carga en *megajoules* por tonelada métrica de carga por kilómetro transportados. La carga aérea representa, de una manera muy marcada, el medio de transporte que consume mayor energía; el transporte en camiones consume mayor energía que el transporte por ferrocarril o transporte a granel por el océano.

Tabla 1. Costos de transporte de energía.³

Buque de Carga/Océano (MJ t-1 km-1)	Carga Aérea (MJ t-1 km-1)	Tren (MJ t-1 km-1)	Camiones Pesados (MJ t-1 km-1)	Camiones Medianos (MJ t-1 km-1)
0.37	15.9	0.23	3.5	6.8

Nota: todos los valores expresados en unidades de *megajoules* por tonelada de carga por kilómetro (MJ t-1 km-1). Los camiones pesados se utilizan para larga distancia, así como el transporte de carga interurbano. Los camiones medianos son utilizados para el suministro de mercancías dentro de la ciudad.

4.2.4. Uso y consumo

Se sabe que la sustentabilidad habla sobre el cuidado de los recursos limitados para evitar su agotamiento, y para lograr el objetivo de la sustentabilidad la clave es cuidar el comportamiento de consumo y uso (Reátegui, 2003). La definición del verbo consumir, de

³ Departamento de Energía de EE.UU. de 2007 y Recursos Naturales de Canadá de 2007 citado en Gleick y Cooley, 2009.

acuerdo al Diccionario de la Lengua Española, es: "*Dicho de la sociedad o de la civilización: Que está basada en un sistema tendente a estimular la producción y uso de bienes no estrictamente necesarios*" (Real Academia Española, RAE, 2001).

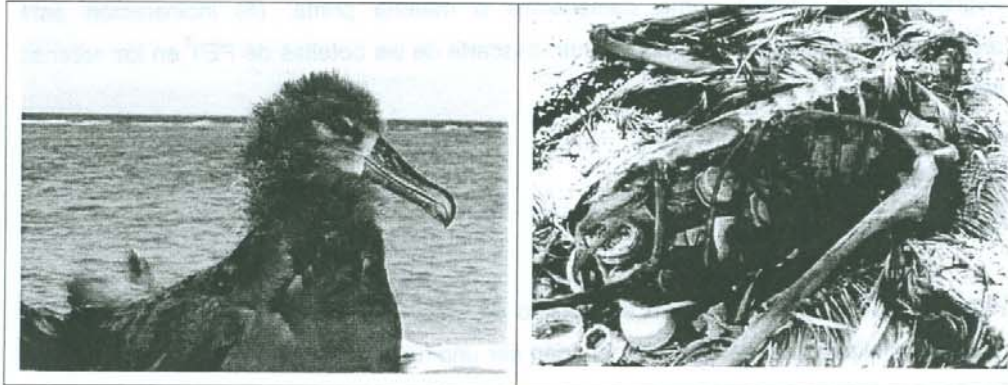
Globalmente, se consumen alrededor de 260 millones de toneladas de plástico al año, aproximadamente el 8 por ciento de la producción mundial de petróleo (Thompson, et al, 2009). México actualmente es el primer país consumidor de agua embotellada en el mundo, la demanda de agua embotellada creció en un 40% durante los últimos cuatro años, (Enciso, 2010). Hasta 2008, México fue el segundo país, después de Estados Unidos, en consumo de agua embotellada a nivel global (Beverage World, BW, 2009). En México se consumieron un total de 6,501.5 millones de galones de agua embotellada de un total de 52,696.8 millones de galones del consumo mundial en ese año, según menciona el reporte de Beverage World (2009). En 2010 los datos que arroja la BMC fueron que cada mexicano consume en promedio 234 litros al año, más del doble que en Estados Unidos, en donde se consumen 110 litros al año per cápita (Enciso, 2010).

4.2.5. Descarte

Siendo el PET solo un tipo de los 20 grupos de plásticos que existen actualmente con numerosas clasificaciones y variedades (Thompson, et al, 2009 cita a APME, 2006) los residuos de plástico se encuentran acumulados en el hábitat natural desde los polos hasta el ecuador; el plástico se inventó en el año de 1907 y no fue sino hasta 1972 cuando se comenzó a tener preocupación por la incorporación del plástico en la naturaleza (Thompson, et al, 2009).

Existe evidencia de que el plástico se encuentra fragmentado en el medio ambiente y consecuentemente, disponible para la ingestión de una amplia gama de organismos (Thompson, et al, 2009 cita a Barnes, et al, 2009). Cantidades substanciales de desechos de plástico ya contaminan los hábitats marinos, el esparcimiento de estos residuos en el medio ambiente marino ha traído consigo a numerosas especies ingiriendo y enredándose en el plástico como consecuencia de la durabilidad de los plásticos, esto lleva consigo lesiones, imposibilidad de movimiento y hasta la muerte (Thompson, 2009 cita a Gregory, 2009).

Ilustración 1. Plástico en el Océano Pacífico.⁴



Se estima que en 2009, en México se desecharon alrededor de 7 mil 800 millones de envases de plástico PET, ello representa 21.3 millones diarios, de los cuales solo el 20 % son reciclados (Enciso, 2010). A diferencia de los metales o materiales orgánicos, la mayoría de los plásticos no se oxidan y difícilmente se desintegran por microorganismos, sin embargo, pueden ser sujetos a degradación debido a procesos foto-químicos, corrosión electrolítica, hidrólisis y similares, a un ritmo muy lento (Song y Hyun, 1999). Sin embargo, actualmente, la mayoría de los desperdicios de plástico son lanzados a los rellenos sanitarios, esta clase de disposición genera muchos problemas como la falta de sitio para colocar rellenos sanitarios, riesgos por lixiviados, contaminación del suelo y emisiones de gas (Brown, D.T., 1993 citado en Song y Hyun, 1999). Alrededor del 10 % del peso de desechos municipales es plástico (Thompson, C. R., et al., 2009 cita a Barnes et al., 2009).

Song y Hyun (1999, pp.267-284) consideran los siguientes escenarios como posibles opciones al descarte de la botella de PET: (1) reciclado mecánico en donde las botellas de PET descartadas son recicladas como entrada de polímero ya sea para la producción de botellas a través del reprocesamiento de los pasos de fusión de extrusión y filtración, (2) otro proceso de producción (por ejemplo: alfombras), (3) reciclado químico, en donde las botellas de PET son recicladas a través de despolimerización o solubilidad como una

⁴ (Moore, 2003)

entrada química de la materia prima de ácido tereftálico (TPA) y etileno de glicol (EG), (4) reciclado térmico, en donde las botellas de PET son recicladas ya sea a través de degradación o pirolisis como combustible o materia prima, (5) incineración para recuperación de energía y (6) finalmente, descarte de las botellas de PET en los rellenos sanitarios.

4.3. Otros impactos

4.3.1. Salud

El agua puede contaminarse en el proceso de embotellamiento y transporte, pues, las mismas botellas y tapones también pueden ser una fuente de contaminación (Robertson, 2006, pp. 448-449). Aunado a lo anterior, se ha demostrado que el PET segrega sustancias químicas al producto alimenticio que alteran al sistema endocrino (Wanger y Oehlmann, 2009). Los disruptores endocrinos son sustancias químicas sintéticas y fitoestrógenos naturales (estrógeno derivado de plantas) que actúan sobre el sistema endocrino de los seres humanos y animales imitándolo, bloqueándolo y/o interfiriendo de alguna manera con las instrucciones de las hormonas naturales a las células; la estimulación o inhibición del sistema endocrino podría producir una cantidad inadecuada de hormonas (demasiado, muy poco o nada en absoluto), cualquier combinación de estas interferencias en el sistema endocrino pueden afectar el desarrollo físico, sexual, la reproducción, el desarrollo del cerebro, el comportamiento, la regulación de temperatura y mucho más, asimismo, un disruptor endocrino pueden dañar o destruir un órgano que tiene la tarea de suministrar hormonas (Goettlich, 2006).

Del mismo modo, se han encontrado altos niveles de antimonio en el agua embotellada en PET (100 veces más que el nivel promedio en agua de pozo), el nivel de antimonio depende del manejo de cada botella, entre más tiempo dure en almacenamiento existe más probabilidad de que aumente el nivel de antimonio, asimismo, el calentamiento de la botella y la luz solar también pueden favorecer la segregación de la sustancia del plástico al líquido; sin embargo; aun no existe claridad en cuanto a las implicaciones en la salud humana (Christen, 2007).

4.3.2. Económicos

Además del impacto ambiental y a la salud, existe otro impacto importante derivado del consumo de agua embotellada que es necesario mencionar, y se trata del impacto económico. A nivel global, en 2005 se gastaban alrededor de \$100 billones de dólares americanos en la compra de agua embotellada según la organización Inside the Bottle (n.d.) con datos del Earth Policy Institute (2006). Si bien aparentemente es positiva la derrama económica que se genera al producir y comprar este producto, a nivel microeconómico no se puede decir lo mismo ya que el desembolso que se realiza para la adquisición de este bien es principalmente a causa de la botella y no del agua, de acuerdo con la nota publicada en el periódico El Economista en 2009, hasta un 90% del costo del producto se debe a la botella; es decir, se gasta en la compra de un producto que solo pasa por las manos del consumidor para descartarlo: la botella de PET (Gasca, 2009). Cabe mencionar que las empresas del sector de agua embotellada ganan hasta 5 mil por ciento más del monto de inversiones que realizan para su venta (Enciso, 2010).

El consumo de agua embotellada ha llegado al punto en el que hoy en día existen lugares en donde venden una variedad selecta de agua embotellada a precios sumamente elevados, por ejemplo, en Europa los precios varían alrededor de ocho euros, estos lugares ofrecen *cartas de aguas* con botellas llenadas con agua proveniente de lugares exóticos (Cruz, 2006).

4.4. Acciones que mitigan impactos

4.4.1. Reducción

En algunos países desarrollados como Estados Unidos y Canadá, se conoce y promueve la importancia de reducir el consumo de botellas de plástico y se han aplicado una serie de medidas para lograrlo; una muestra es que en Estados Unidos existe una gran campaña por parte de algunas universidades para promover el cese al consumo de agua embotellada mediante la suspensión de su venta dentro de los diferentes campus, algunos ejemplos son: la Universidad de Belmont, Colegio Estatal de Evergreen y la Universidad de Washington en St. Louis; asimismo, la Universidad de Winnipeg fue la

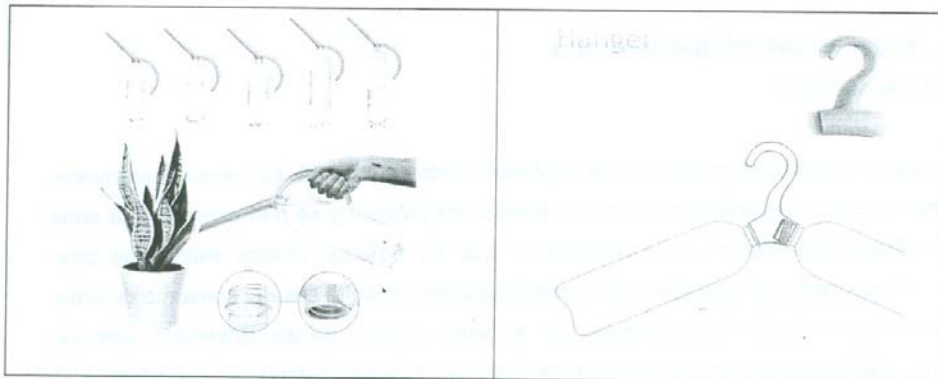
primera universidad Canadiense en unirse a la causa (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education, AASHE, 2009).

En Estados Unidos, las cifras de consumo de agua embotellada comenzaron a disminuir en el año 2008, después de un súbito crecimiento durante la última década; dos factores que influenciaron la inhibición del crecimiento de venta del agua embotellada fueron la economía y el cuidado al medio ambiente (BW) (2009). El reporte de 2006 de consumo en Estados Unidos menciona que *"fue otro año triunfante para la botella de agua"* (BW) (2006), mientras que el mismo reporte en 2009 dice textualmente: *"por un número de razones, 2008 marcó un año difícil para el agua embotellada. La categoría que experimentó un fuerte crecimiento en años previos... percibió un decline en volumen por primera vez en más de 10 años"* (BW) (2009).

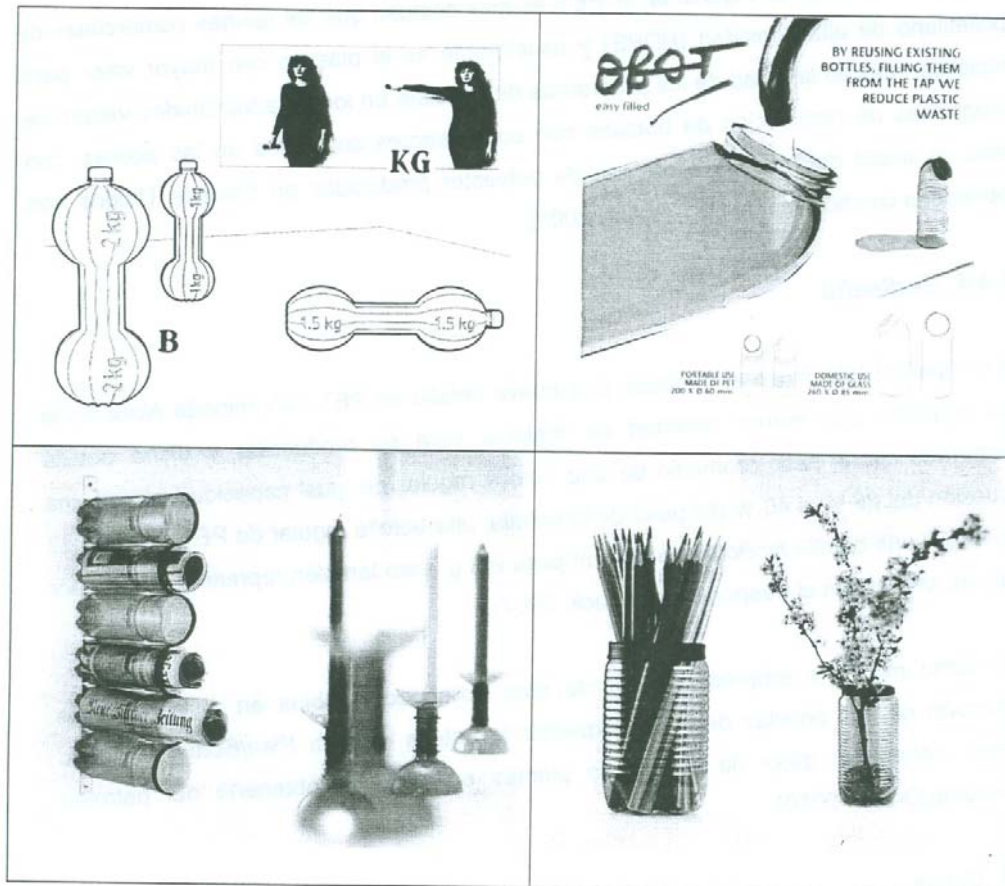
4.4.2. Reutilización

Existen un gran número de maneras de reutilizar la botella de PET, el modo más común es rellenar la botella con agua nuevamente, pero también se le puede dar un uso adicional al de tomar agua, como por ejemplo darle apariencia y uso como artículo decorativo para el hogar, también se puede aprovechar para utilizarlo como equipo para hacer ejercicio, etc. A continuación se presentan una serie de ejemplos creativos:

Ilustración 2. Ideas para reutilización de botellas de PET⁵



⁵ (Alter, 2008; Designboom, 2010)



4.4.3. Reciclaje

Las botellas de PET se pueden reciclar o reproducir: se pueden convertir en alfombras de poliéster, telas y fibras para la industria textil y de ropa, películas de plástico, cajas para huevo, correas industriales y nuevas botellas de plástico (Ferrier, 2001).

Otro uso que se le puede dar a la botella de PET es utilizarla como materia prima para producir automóviles, en 2007 la compañía automotriz Coreana Hyundai, en conjunto con la empresa GE Plastics ideó el automóvil QarmaQ, cuyas partes utilizan botellas de PET en su fabricación; se reutilizan alrededor de 900 botellas de plástico para fabricar el auto, denominado QarmaQ (Winter, 2007).

Por ser una resina de ingeniería, el PET es más costoso que las resinas comerciales de polietileno de alta densidad (HDPE) y usualmente es el plástico con mayor valor para reciclaje; más de la mitad de los programas de reciclaje en los Estados Unidos vienen de programas de recolección de botellas con contenedores colocados en las aceras, con ellos, la mitad del total de alfombras de polyester producidas en Estados Unidos son fabricadas con botellas de PET (Miller, 2001).

4.4.4. Rediseño

La compañía Sidel lanzó al mercado una nueva botella de PET denominada *NoBottle* la cual requiere una menor cantidad de material para su producción y dicha botella comparada con el peso promedio de una botella regular de igual capacidad ofrece una reducción del 25 % al 40 % del peso de la botella; una botella regular de PET pesa de 13 g a 16 g y una botella *NoBottle* de 500 ml pesa 9.9 g, esto también representa un menor gasto de energía en el transporte (Envapack, 2007).

Del mismo modo, la empresa Coca-Cola está aplicando cambios en el proceso de producción de sus botellas de PET al diseñar la botella llamada *PlantBottle*, el nuevo proceso obtiene el glicol de etileno de plantas en lugar de obtenerlo del petróleo (Packaging Online, 2010).

4.4.5. Otros

Otro ejemplo de concientización ocurre en el Estado de Carolina del Norte en Estados Unidos, en donde el 1ero de Octubre de 2009 se implementó una ley que prohíbe el desecho de botellas de plástico en los rellenos sanitarios del Estado, el reciclado de todas las botellas usadas en el Estado propiciará que se desvíen más de 2.4 billones de botellas de plástico de los rellenos sanitarios anualmente (Ursery, 2009).