

EL ENVASE DE POLIETILENTEREFALATO: SU IMPACTO MEDIOAMBIENTAL...



Alyn Ferro Nieto, Assen Toledo Argüelles y
José C. Cadalso Basadre

El envase de polietilentereftalato: su impacto medioambiental y los métodos para su reciclado

Alyn Ferro Nieto, Assen Toledo Argüelles y
José C. Cadalso Basadre

Página legal

661-Fer-E

El envase de polietilentereftalato: su impacto medioambiental y los métodos para su reciclado / Alyn Ferro Nieto, Assen Toledo Argüelles y José C Cadalso Basadre. -- Ciudad de La Habana : Editorial Universitaria, 2008. -- ISBN 978-959-16-0955-7 -- 27 pág.

- 1.Ferro Nieto, Alyn
- 2 Toledo Argüelles, Assen
- 3.José C Cadalso Basadre
- 4.Materia 1

Edición: Dr. C. Raúl G. Torricella Morales

Corrección: Luz María Rodríguez Cabral



Editorial Universitaria del Ministerio de Educación Superior, 2008

Alyn Ferro Nieto (Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya), 2008

La Editorial Universitaria publica bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Editorial Universitaria

Calle 23 entre F y G, No. 564

El Vedado, Ciudad de La Habana, CP 10400

Cuba

e-mail: torri@reduniv.edu.cu

Sitio Web: <http://revistas.mes.edu.cu>

Índice general

| | |
|---|----|
| El envase de polietilentereftalato: su impacto medioambiental y los métodos para su reciclado..... | 2 |
| Página legal..... | 3 |
| Índice general..... | 4 |
| Introducción..... | 5 |
| Desarrollo..... | 7 |
| 1- MATERIALES PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA: ANTECEDENTES Y GENERALIDADES..... | 8 |
| 1.1- El polietilentereftalato: características y aplicaciones..... | 8 |
| 2- ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA A LA CONTAMINACIÓN CON DESECHOS PLÁSTICOS..... | 10 |
| 3- RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS..... | 12 |
| 3.1- Situación de los residuos sólidos urbanos en Cuba..... | 13 |
| 3.2- Situación de los residuos sólidos plásticos..... | 14 |
| 3.2.1- Balance ecológico y análisis del ciclo de vida..... | 15 |
| 3.2.2- Factores que afectan al reciclado de los plásticos..... | 15 |
| 4- MÉTODOS PARA EL RECICLADO DE RESIDUOS PLÁSTICOS: PERSPECTIVAS..... | 16 |
| 4.1- Reducción en la fuente..... | 16 |
| 4.2- Reciclado mecánico..... | 17 |
| 4.3- Reciclado químico o recuperación de los constituyentes iniciales..... | 17 |
| 4.4- Perspectivas de los métodos de reciclado para el PET a nivel mundial..... | 18 |
| 4.4.1- Los métodos de reciclado para el PET en Cuba: estudios realizados..... | 19 |
| Ideas claves..... | 21 |
| Bibliografía citada..... | 22 |
| Bibliografía consultada..... | 23 |
| Anexos..... | 24 |
| 1- TABLA 1. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN ALGUNAS REGIONES DEL MUNDO..... | 24 |
| 2- TABLA 2. TERMINOLOGÍA EMPLEADA EN INGENIERÍA AMBIENTAL PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS..... | 24 |
| 3- TABLA 3 PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS FÍSICOS REALIZADOS A MUESTRAS DE PET POST CONSUMO PROCESADAS MEDIANTE RECICLADO MECÁNICO..... | 25 |
| 4- TABLA 4 PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS MECÁNICOS FÍSICOS REALIZADOS A MUESTRAS DE PET POSTCONSUMO PROCESADAS MEDIANTE RECICLADO MECÁNICO..... | 25 |
| 5- FIGURA 1: CICLO DE VIDA DEL PET..... | 26 |
| 6- FIGURA 2: ETAPA DE LIMPIEZA Y SEPARACIÓN PARA EL RECICLADO MECÁNICO..... | 27 |
| 7- FIGURA 3: ESQUEMA DEL PROCESO DE METANÓLISIS (MÉTODO QUÍMICO PARA EL RECICLADO DEL PET)..... | 28 |

Introducción

Con el fin de hacer su vida más eficiente y aplicando el desarrollo de la ciencia y la tecnología, el hombre ha aprendido a imitar la naturaleza, e incluso a mejorarla, sintetizando nuevos polímeros, la mayoría de ellos a partir de derivados del petróleo. /1/

La existencia de los polímeros es tan antigua como la vida misma, si se tiene en cuenta que los vegetales presentan celulosa en su constitución, mientras que los animales presentan proteínas y ácidos nucleicos que son macromoléculas que son considerados polímeros naturales.

En la actualidad la síntesis y el procesado de materiales poliméricos es una de las más importantes ramas de la industria química, y los polímeros están presentes de forma habitual en nuestra vida cotidiana. /1/

Los trabajos de Staudinger y Carothers en las primeras décadas del siglo XX, marcan el surgimiento del estudio de los polímeros como ciencia independiente. La ciencia de los polímeros, que en los inicios se fundamentó en la investigación sistemática de compuestos orgánicos naturales, estableció los principios que rigen cualquier estudio que se realice en este campo: determinación de la composición, caracterización físico química y estructural, y estudio de las propiedades, cuyos resultados se correlacionan con la composición y la estructura.

La incorporación de la ciencia de los polímeros a la tecnología permitió la integración en gran medida, de ramas de la industria, nacidas en el siglo pasado y el auge de los materiales poliméricos, al grado de ser uno de los hechos más destacados de esa centuria. /1/

Muchos de los materiales que utilizamos y deseamos cotidianamente son plásticos. Los plásticos pertenecen a una categoría de materiales más amplia que son los polímeros. Las excelentes propiedades y bajo costo que presentan los materiales plásticos, hizo posible que experimentaran un vertiginoso desarrollo; encontrando aplicación en la totalidad de las ramas de la ciencia y la técnica, así como en los aspectos comunes de la vida diaria, llegando a sustituir a los materiales tradicionales hasta en las aplicaciones más exigentes.

El Poli-etilentereftalato (PET), es uno de los materiales plásticos de envasado que más ha incrementado su consumo en las últimas décadas. El abaratamiento en los costes de fabricación y el desarrollo de tecnologías que mejoran substancialmente las propiedades de las botellas de PET, han permitido un crecimiento notable del número de sus aplicaciones. Entre ellas cabe destacar el envasado de agua mineral, aceite, zumos, bebidas isotónicas, detergentes, productos de higiene corporal y productos farmacéuticos entre otros /2/.

En particular, los envases de PET resultan especialmente adecuados para contener líquidos a presión, siendo el envasado de bebidas carbónicas su principal aplicación. En España, por ejemplo, las primeras botellas de PET aparecieron en el mercado en 1980. Desde entonces el consumo ha ido creciendo hasta alcanzar, en 1995, las 80.000 toneladas. /3/

Debido a esta versatilidad, su uso se ha disparado de manera exponencial, generando un número considerable de desechos post consumo, los cuales a pesar de no causar daños directos al medio ambiente, incrementan notablemente la fracción de residuos sólidos urbanos.

El uso masivo del PET y de otros materiales poliméricos por el sector empresarial y doméstico, ha originado una nueva forma de contaminación ambiental: los desechos plásticos, que por su alta resistencia a los agentes biológicos y atmosféricos, son productos nocivos al medio.

Un análisis integral de la relación entre el medio ambiente y desarrollo en el actual contexto internacional, debe considerar la deuda ecológica del mundo desarrollado y la persistencia de un entorno subdesarrollado, pobreza y deterioro ambiental que afecta a las tres cuartas partes de la humanidad, ejemplo de ello es que, al alrededor del 50% de la población mundial carece de sistemas adecuados de saneamiento en sentido general, incluyendo los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). /4-7/

Esto confirma que la solución a los dilemas económicos, sociales y ambientales que enfrenta la humanidad a inicios del nuevo milenio, supone el diseño de estrategias de desarrollo sostenible.

La necesidad de solucionar la gestión y manejo de los RSU, está impulsando el desarrollo de sistemas alternativos de reciclado y valorización de los envases usados.

El proceso de recuperación de desechos plásticos, adquiere un especial interés por parte de las compañías transformadoras y gobiernos, por que además de resolver el acuciante problema ambiental, permite la disminución de los costos de producción, mejora el saneamiento ambiental y da la posibilidad de nuevas formulaciones de mezclas de estos materiales.

Aunque las investigaciones hasta ahora realizadas en este campo, son lideradas por los países industrializados, que han desarrollado y aplicado masivamente alternativas para el reciclado del PET postconsumo, no cabe duda de que sigue siendo una cuestión de vital importancia lo que afirma el Dr. Jorge Núñez Jover en su ensayo “Ciencia, Tecnología y Sociedad” /8/, respecto a la responsabilidad social de los científicos del Sur: “...la definición de proyectos científico-técnicos que sirvan de soporte a los objetivos generales del desarrollo social en los países del Sur, debe estar centrado en sus realidades sociales...”.

A pesar de que el PET no causa daños directos al medio ambiente es visto como un elemento altamente contaminante, debido a su elevada fracción en volumen y al largo tiempo de vida media, por lo que se trabaja escala mundial en su reciclado y no destrucción.

El reciclado del envase de PET post consumo es una realidad viable, tanto técnica como medioambientalmente, ya que da lugar a un producto con un importante valor añadido, contribuyendo a disminuir la generación masiva de residuos.

La década de los 80 marca el comienzo del auge y desarrollo de los materiales plásticos en nuestro país, en el área del Caribe y Latinoamérica. Alta demanda y diversificación de productos han propiciado que la producción, fundamentada en los inicios en el procesamiento de termoplásticos a escala industrial y doméstica aumentara, extendiéndose a otros tipos de materiales con nuevas prestaciones. Surgen empresas que se dedicarían a producciones variadas con materiales compuestos obtenidos a partir de poliéster insaturado con fibra de vidrio como los astilleros de Gibara y Manzanillo, así como fábricas para la transformación de termoplásticos como la de Cajimaya, Combinado Lácteo de Bayamo, la Fábrica de Tubos de Polietileno en Holguín (HOLPLAST), entre otros.

Es necesario destacar que en la situación ambiental de Cuba se aprecia un avance, nuestro país ha trazado políticas y estrategias (Estrategia Ambiental Nacional y Provincial), lográndose a través del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), insertar en la conciencia del empresario su compromiso ambiental, aunque existen factores limitantes debido a la situación actual y los elevados costos, lo cual se evidencia por ejemplo en las Empresas de Recuperación de Materias Primas (ERMP), las cuales no cuentan con una infraestructura lo suficientemente sólida, como para hacer frente a la cantidad de desechos de PET que se acumulan mensualmente en sus depósitos, resultando cada vez más apremiante la necesidad de resolver esta situación.

Desarrollo



1- Materiales plásticos en la industria: antecedentes y generalidades

Los plásticos son agregados de macromoléculas orgánicas y un bajo tanto por ciento de materias lubricantes. Se pueden obtener sintéticamente o bien por transformación de productos naturales. Constituyen materiales duraderos y ligeros, poseen gran resistencia al ataque de los ácidos, bases y agentes atmosféricos y buenas propiedades mecánicas, como resistencia a la rotura y al desgaste.

Los materiales poliméricos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico./2/

La aparición de los materiales plásticos en la industria, surge como una necesidad de diversificar las prestaciones de los materiales de ingeniería. Durante la Segunda Guerra Mundial, tanto los aliados como las llamadas fuerzas del Eje sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético./3,9/

Durante los años de la postguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros.

1.1- El polietilentereftalato: características y aplicaciones

Entre los materiales plásticos más utilizados actualmente, se encuentra el Polietilentereftalato (PET), el cual debido a sus excelentes propiedades, constituye uno de los termoplásticos de uso general. Fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941. Catorce años más tarde, en 1951 comenzó la producción comercial de fibra de poliéster./9/ Desde entonces, el PET ha sido objeto de incesantes y extremadamente activas investigaciones./10-12/

La fabricación de PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico, logrando un alto nivel de calidad y una diversificación en sus empleos.

A partir de 1976 se emplea en la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas, los cuales, al principio eran botellas gruesas y rígidas, pero hoy en día, sin perder sus excelentes propiedades como envase, son mucho más ligeros./9,13/

Este material sobresale entre otros materiales plásticos, por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales como por ejemplo, el Policloruro de Vinilo (PVC).

Presenta una demanda creciente en todo el mundo, lo cual se aprecia, por ejemplo, en los 450 millones de toneladas de PET empleados anualmente en Europa, el equivalente a casi 300 toneladas en envases.

Debido a esta versatilidad, su uso se ha disparado de manera exponencial, generando un número considerable de desechos post consumo, los cuales a pesar de no causar daños directos al medio ambiente, incrementan notablemente la fracción de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

2- Antecedentes de la problemática ambiental asociada a la contaminación con desechos plásticos

Se dice que la acción del hombre sobre los ecosistemas es muy antigua y que data de centenares de miles de años atrás, desde el comienzo de la comunidad primitiva, cuando el hombre tomaba los frutos y se alimentaba de la caza sin preocuparse de su renovación, y por tanto, involuntariamente, contribuía a la disminución de especies animales y vegetales.

En la era moderna, acontecieron sucesos que no eran catalogados como problemas ambientales y que muchas veces se atribuían a castigos divinos.

Luego durante el período que media entre la desaparición del feudalismo y el afianzamiento del régimen capitalista de producción se aprecia una explotación intensiva de los recursos naturales y pésimas condiciones de trabajo, lo cual perdura hasta nuestros días, y que trae afectaciones a los recursos, sobre todo a los no renovables, y a la calidad de vida del trabajador.

La revolución industrial trae la aparición de ramas de la industria basadas en tecnologías “no limpias”./14/

En el Siglo XIX el desarrollo industrial aparejado al auge del sistema colonial generan el desarraigo de la población colonizada, cambios en sus costumbres y formas de vida con la consecuente influencia en el patrimonio cultural e histórico.

El Siglo XX, y sobre todo su segunda mitad, se caracterizan por la agudización de las contradicciones entre el hombre y la naturaleza, como consecuencia de la interacción de la sociedad y la naturaleza, lo que representa un problema esencial de la problemática ecológica, el cual ha sido y es en la actualidad objeto de las más diversas interpretaciones optimistas y pesimistas, científicos y religiosos en consonancia con los presupuestos y principios filosóficos, socioéticos e ideológicos que descansan en su base./14,15/

Dentro de los factores vinculados con la crisis ecológica aparecen algunos que son dignos de destacar:

- Crecimiento global de la población.
- Destrucción de mecanismos de autorregulación de la biosfera por efectos negativos de la contaminación con residuales de la actividad productiva del hombre.

Sin embargo, durante mucho tiempo se pensó que el medio ambiente estaba al margen del desarrollo económico, como por ejemplo el hecho de considerar que la contaminación era ajena al proceso de producción económica./14/

Durante las últimas décadas, la preocupación por la protección del medio ambiente ha constituido, una de las inquietudes más importantes de la sociedad contemporánea. Problemas de carácter estructural, como la crisis energética, han venido a sustituir prioritariamente a la contaminación, aunque para algunos sectores de la población (grupos ecologistas) siguen primando las inquietudes ambientales y ecológicas.

Resulta paradójico que cuando se había empezado a tomar conciencia del problema y se habían iniciado soluciones para atacarlo, sea, precisamente, cuando la economía se encuentra minimizada para soportar las cargas que tales soluciones implican.

Uno de los sectores que ha tributado grandemente al desequilibrio de los ecosistemas resulta la industria del plástico, el cual ha experimentado un importante desarrollo durante las últimas décadas. En España, por ejemplo, se consumen más de 2 millones de toneladas al año y el crecimiento anual es de un 15% aproximadamente. Los datos relativos al consumo promedio en Cuba oscilan entre 0.2-0.7 Kg per cápita (datos no oficiales recogidos en algunas fábricas de transformación). Este aumento en la demanda de plásticos está propiciado por sus buenas características técnicas al mismo tiempo que por su bajo coste. /16/

Muchas de las ventajas de los productos plásticos se convierten en una desventaja en el momento en que son desechados ya sea, porque el envase es descartable o bien cuando se tiran objetos de plástico, porque se han roto. Si bien los plásticos podrían ser reutilizados o reciclados en su gran mayoría, lo cierto es que hoy estos desechos son un problema de difícil solución, fundamentalmente en las grandes ciudades. Las empresas, buscando reducir costos y amparadas en la falta de legislación, vienen sustituyendo los envases de vidrio por los de plástico retornables en un comienzo, y no retornables posteriormente. Esta decisión implica un permanente cambio en la composición de la basura.

En Uruguay, por ejemplo, este proceso se ha acelerado desde mediados de 1996, agravándose durante 1997 cuando además, muchos envases retornables de vidrio se transformaron en vidrio descartable./17/

Es realmente una tarea costosa y compleja para los encargados de la recolección y disposición final de los residuos ya que a la cantidad de envases se le debe sumar el volumen que representan.

Por sus características, los plásticos generan problemas en la recolección, traslado y disposición final. Algunos datos nos alertan sobre esto. Por ejemplo, un camión con una capacidad para transportar 12 toneladas de desechos comunes, transportará apenas 6 ó 7 toneladas de plásticos compactado, y apenas 2 de plástico sin compactar. Dentro del total de plásticos descartables que hoy van a la basura se destaca en los últimos años el aumento sostenido de los envases de PET, proveniente fundamentalmente de botellas descartables de aguas de mesa, aceites y bebidas alcohólicas y no alcohólicas.

3- Residuos Sólidos Urbanos

El concepto de "residuo" es relativo. Surge del mundo de la economía, del valor que se le asigna, de las posibilidades de utilización conforme a los conocimientos científicos y técnicos del momento. Lo que hoy es llamado residuo mañana puede ser materia prima, si adquiere un valor en el mercado.

De acuerdo con la NC 133:2002: "Los Residuos Sólidos Urbanos son conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica para la actividad que lo produce, siendo procedente de las actividades domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que se produzcan en una comunidad, con la sola excepción de las excretas humanas"./18/

Los RSU comprenden una amplia gama de desechos entre los que se encuentran: metales (ferrosos y no ferrosos), papel y cartón, desechos orgánicos, vidrio, plásticos y otros./19/

La recuperación y reciclado de productos se ha planteado como una estrategia seria de una política de gestión de residuos que, a su vez, presenta algunos inconvenientes: costo de recuperación, energía necesaria para su recuperación, precio del transporte, nuevas líneas de comercialización e inferior calidad de los productos regenerados.

A nivel mundial los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se manejan de diferentes maneras, en dependencia del nivel de desarrollo alcanzado por la nación en concreto, prevaleciendo que a mayor disponibilidad de recursos económicos, las naciones aumenten sus esfuerzos para mejorar la gestión de sus RSU, como necesidad comunitaria, en particular por la presión social. Existe investigación sobre la generación de energía a partir de RSU mediante incineración, sin embargo, el James Center of Dickinson College y la Fundación ICA de México, señalan que esta alternativa causa deterioro ambiental y reducción de la calidad de vida de quien trabaja ó vive cerca de incineradores. Además, las Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) de países en vías de desarrollo, se oponen a la transferencia tecnológica de incineración al considerarla una manera de gestionar RSU con impacto ambiental negativo.

En Latinoamérica se calcula que le cuesta al municipio de \$75-\$95 USD.ton-1. En los EUA de \$65-\$70 USD.ton-1. No obstante, la energía eléctrica que se genera por cada tonelada de residuos incinerados, asegura ingresos por \$18-\$20 USD. /17/

Actualmente la mayoría de los países en vías de desarrollo realiza una gestión inadecuada de RSU, con un elevado costo de inversión, además los obliga a implementar estrictas normas de protección ambiental.

Factores nacionales y regionales contribuyen a determinar la composición de los RSU. En la tabla 1 del anexo, se muestra la composición de RSU en el 2001 en algunas regiones del mundo. /17/ En los EUA, el mayor porcentaje de los RSU fueron: 41% de papel/cartón; 29% orgánico, el 30% restante, más de la mitad compuesto por metal y plásticos, con un 17%, los sanitarios (u otros) el 7% y vidrio el 6%, de ahí que un alto porcentaje se incinere. En Buenos Aires, capital de la Argentina los RSU se dividen en: 40% orgánicos; 24% papel/cartón; del 36% restante más de tres cuartas partes corresponden a la suma de plásticos y sanitarios, con 14% de cada uno, en el menor porcentaje están vidrio con 5% y metal 3%, lo cual explica el alto porcentaje de empleo del tiradero a cielo abierto.

3.1- Situación de los residuos sólidos urbanos en Cuba

La conservación del Medio Ambiente y el desarrollo sostenible han pasado a ser una de las principales prioridades políticas en nuestro país ante el evidente deterioro de la situación del planeta.

La creación en 1994 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente dio un importante impulso a la política y la gestión ambientales en el ámbito nacional. Este trascendental cambio institucional, impuso a su vez la necesidad de revisar los marcos estratégicos y regulatorios del país, en materia de medio ambiente./20/

A pesar de los avances alcanzados, el contexto socioeconómico de nuestro país y en particular de la ciudad de Holguín, ha estado marcado por las restricciones que impuso la crisis económica denominada “Período Especial” desde principios de los años 90 y que aún en la actualidad se evidencia por la no correspondencia entre el crecimiento de la población, con el decrecimiento de la producción industrial, la insatisfacción de la demanda de servicios, la disminución en la construcción de nuevas viviendas y en el saneamiento urbano; así como en el escaso mantenimiento y la rehabilitación del equipamiento social y las infraestructuras construidas. Todo lo cual repercute en la obsolescencia; el déficit y deterioro de las redes e infraestructuras; falta de sistemas de tratamiento de residuales; limitaciones en el reciclaje y reutilización de los desechos; así como en el incremento de la indisciplina social.

En los últimos años, la economía ha iniciado un proceso de recuperación gradual y se trabaja en diferentes programas priorizados para revertir el problema en el corto y mediano plazo. No obstante, aún persisten los impactos producidos a la economía local, a la calidad de vida de la población, a la imagen urbana y al medio ambiente de la ciudad y sus áreas de influencia; constituyendo todos ellos elementos de presión sobre recursos naturales como el suelo.

Los RSU que se producen en la ciudad de Holguín están constituidos por materiales orgánicos, metales, papel, cerámicos y plásticos, los cuales se convierten en basura cuando se depositan mezclados.

En la actualidad los volúmenes generados por este concepto son muy altos y parcialmente no degradables por la variedad de su contenido; estos desechos no degradables se procesan por el reciclaje en alrededor de un 13 %, que incluye aquellos que son recogidos por el transporte automotor en el vertedero municipal./21/

Reportes realizados al informe del Proyecto Agenda 21 Local reflejan que, el almacenamiento domiciliario se realiza por parte de la población y organismos en depósitos propios, en alrededor de un 80 % de los volúmenes de basura se generan diariamente y el restante 20 % se deposita en contenedores distribuidos en diferentes repartos de la ciudad. En todos los casos los residuos se depositan mezclados y con frecuencia se viola por la población y las instituciones estatales los horarios de recogida. Las principales deficiencias que inciden en el almacenamiento domiciliario están dadas por la falta de depósitos adecuados para el almacenamiento y clasificación, además de una deficiente cultura ambiental de la población para la percepción de los riesgos sanitarios que implica la incorrecta manipulación y almacenamiento de los residuos.

De manera general las dificultades de almacenamiento domiciliario, así como también la recogida y disposición final producen un impacto social y ambiental que se manifiesta en el deterioro de la higiene comunal, la imagen urbana y la salud de las personas, debido a los malos olores producto de la acumulación de residuos sólidos en los puntos de recogida, donde se incumplen los ciclos de

recogida y que propicia la aparición de vertederos ilegales. A pesar de que se aúnan esfuerzos para revertir esta situación todavía resulta insuficiente.

Entre las acciones del gobierno nacional en torno a la solución de esta problemática y que ha sido una de las de mayor repercusión, resulta la creación de la Empresa de Recuperación de Materias Primas (ERMP), que tiene como objetivo fundamental la recuperación y el aprovechamiento técnico-económico de los desechos, productos y residuos reutilizables y reciclables.

Además, en aras de propiciar un entorno más sano y mejor calidad de vida para la población, la Estrategia Ambiental Nacional para el período 2007-2010, establece para el manejo de residuos sólidos en conjunto de acciones entre las que se encuentran/20/:

- Introducir prácticas de Producción Más Limpia, incluyendo la búsqueda y aplicación de tecnologías de avanzada.
- Aumentar los niveles de reciclaje y reuso de los residuos sólidos.
- Incrementar la cobertura de recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos, con énfasis en los desechos peligrosos.
- Realizar campañas de concientización y educación ambiental.

Todas estas acciones deben contribuir al mejoramiento de la calidad medioambiental de la ciudad, y a la disminución del impacto negativo causado por los desechos sólidos urbanos.

3.2- Situación de los residuos sólidos plásticos

Los Residuos Sólidos Plásticos (RSP), forman parte de los RSU, que se generan en casas, comercios, instituciones y áreas públicas. La acumulación de RSP es un problema ambiental y social que, sin reciclar, reutilizar o reducir se desaprovecha su valor potencial y sus posibles prestaciones en beneficio del medio ambiente y la sociedad. La creciente escasez de materias primas para la síntesis de plásticos, su recuperación y la protección del ambiente, son razones suficientes para su reciclaje.

En las ciudades de países pobres o de economía de transición, es frecuente ver RSP acumulados en basureros o tiraderos a cielo abierto. /17/ Los tiraderos de RSP impactan negativamente al ambiente mezclados con residuos orgánicos e inorgánicos. La descomposición orgánica causa malos olores, lixiviados, propicia la proliferación de insectos y roedores que son vectores de microorganismos patógenos de humanos y animales.

El criterio y la actitud de la población mundial, al igual que sus gobernantes con respecto a la gestión de RSP con propósitos económicos y ambientales ha ido cambiando, con el transcurso del tiempo. Por ejemplo en los países desarrollados, las estrategias de manejo y aprovechamiento de RSP, se emplean para generar energía eléctrica por incineración. En contraste en países en vías de desarrollo como México, no existe conciencia para su uso, aunado al desinterés, la ignorancia por el reciclaje de los residuos sólidos plásticos, los convierte en basura, a pesar del actual avance tecnológico al respecto. Por ejemplo, para la Legislación Ambiental Mexicana, un residuo es: "cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o control de calidad, que no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó"/17/. Sin embargo, la ingeniería ambiental, lo define como "cualquier material con potencial de utilizarse como materia prima en uno o más procesos productivos subsiguientes"/17/ y emplea los términos recuperación, reciclaje y reutilización que aparecen definidos en la tabla 2 del anexo.

3.2.1- Balance ecológico y análisis del ciclo de vida

Estos dos conceptos, estrechamente unidos e introducidos recientemente permiten afrontar de una forma más lógica y racional el problema planteado por los desechos de la sociedad de consumo y, es particular, por los plásticos. El impacto medioambiental de un determinado bien debe plantearse desde una perspectiva global, desde que nace el plástico hasta que muere, teniendo en cuenta su contribución ecológica (ecobalance) durante el transcurso de toda su vida como se muestra en la figura 1 del Anexo.

3.2.2- Factores que afectan al reciclado de los plásticos

La vida de un plástico no es infinita. Por mucho que se alargue su existencia mediante el reciclado su destino final es la incineración o el vertedero. En algunos casos, únicamente el reciclado químico permite una "pseudoinmortalidad", especialmente en aquellos en los que es aplicable la depolimerización con generación de los monómeros de partida.

El tipo de tratamiento que se da a los residuos plásticos viene determinado por una serie de factores de muy distinta naturaleza, en pocos casos tecnológicos, y entre los que habría que destacar la disponibilidad de terreno aptos para su uso como vertederos controlados, legislación medioambientales apoyos y subvenciones de autoridades gubernamentales, regionales y locales, etc. Así, mientras en Estados Unidos y Europa la mayor parte de los residuos municipales son enterrados, en Japón, donde cada metro cuadrado de terreno es oro puro, se favorece su incineración. El reciclado químico, es otro método que puede contribuir de manera decisiva a reducir la fracción de estos residuos.

Actualmente la gestión integral de los RSP a nivel mundial se concentra en:

1. Conservar recursos naturales.
2. Ahorrar energía.
3. Disminuir la generación de RSP mediante reducir, reutilizar y reciclar.

En el presente las empresas que los eliminan, son más exitosas que aquellas que los tratan, un vertedero requiere menor inversión inicial y su beneficio es a menor plazo que una planta recicladora ó de compostaje. La recolección en el lugar de origen, debe promoverse para convertirse en una práctica cotidiana. La recuperación de materias primas y el reciclaje son necesarios para un desarrollo sustentable, pero en el caso de los RSP, existen intereses opuestos a los de defensores del ambiente. Esta situación confunde a la población y la induce a desperdiciarlos.

En las alternativas actuales que se manejan a nivel mundial para el tratamiento de RSP, existe el concepto de su valorización por/22/:

1. Reducción en la fuente.
2. Reciclado mecánico
3. Reciclado químico

4- Métodos para el reciclado de residuos plásticos: perspectivas

La ecología científica parte del principio de que la interrelación del hombre con la naturaleza es una condición indispensable para la existencia de la sociedad al tiempo que reconoce que se puede alcanzar la unidad orgánica del hombre con el medio ambiente en que vive mediante su actividad creadora, consciente y científicamente organizada de la sociedad en su relación con ese medio. /15/

Tomando en cuenta estos preceptos, el reciclaje de los plásticos se convierte en una alternativa útil para la reducción de los RSP. El reciclaje de los RSP se considera una estrategia importante para contribuir al fortalecimiento de la cultura ambientalista y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de que se disponen. Algunos países desarrollados son vanguardistas en el reciclaje, pero en contraste, proponen transferir tecnología obsoleta a los países en vías de desarrollo. Por otro lado el reciclaje de residuos plásticos, también es un asunto socio-político, que obliga a países en desarrollo a establecer leyes para su gestión y de esa forma proteger un ambiente de calidad.

Existen diferentes alternativas para el reciclado de los RSP, entre ellos se encuentran:

4.1- Reducción en la fuente

La reducción en la fuente se refiere directamente al diseño y a la etapa productiva de los productos, principalmente envases, antes de ser consumidos. Es una manera de concebir los productos con un nuevo criterio ambiental; generar menos residuos. /22/

La reducción en la fuente es responsabilidad de la industria petroquímica (fabricante de los diferentes tipos de plásticos), de la industria transformadora (que toma esos plásticos para fabricar los diferentes productos finales), y de quien diseña el envase (envasador).

Aunque podría decirse que al consumidor también le cabe una buena parte de la responsabilidad: en las góndolas de los supermercados es él quien tiene la facultad de elegir entre un producto que ha sido concebido con criterio de reducción en la fuente y otro que derrocha materia prima y aumenta innecesariamente el volumen de los residuos. /22/

Reducir en la fuente significa referirse a la investigación, desarrollo y producción de objetos utilizando menos recursos (materia prima). De ahí su denominación porque se aplica a la faz productiva. Al utilizar menos materia prima se producen menos residuos y además se aprovechan mejor los recursos naturales.

Minimizar el volumen y peso de los residuos es el primer paso para resolver el problema global de los mismos. Todo gerenciamiento de los RSP debe comenzar por la reducción en la fuente.

Las principales ventajas de la reducción en la fuente:

- Disminuye la cantidad de residuos; es mejor no producir residuos que resolver qué hacer con ellos.
- Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.
- Se ahorran recursos naturales, energía, materia prima y recursos financieros.
- La reducción en la fuente aminora la polución y el efecto invernadero.
- Requiere menos energía transportar materiales más livianos. Menos energía significa menos combustible quemado, lo que implica a su vez menor agresión al ambiente.

4.2- Reciclado mecánico

El cual parte de principio de obtener una nueva materia prima apta para nuevas aplicaciones, mediante la regeneración del material plástico recuperado. Las piezas usadas de plástico se recogen, clasifican, trituran, aditivan y transforman, como se muestra en la figura 2 del Anexo. El resultado son nuevos objetos de plástico reciclado. /22,23/

Constituye una de las alternativas más empleadas por las casas productoras de plásticos; las cuales, emplean fundamentalmente como procesos de transformación la inyección y la extrusión, sin embargo este proceso es insuficiente por sí solo para dar cuenta de la totalidad de los residuos.

En el caso del PET, este método es aplicado por numerosas empresas recicladoras, entre las que se encuentran Sorema (opera a tasas de 500 kg/h), Luigi Bandera SpA (llega hasta capacidades de 1.400 kg/h), entre otras./22/ Contando dentro de sus tecnologías con etapas automatizadas de identificación, separación (incluso para recipientes coextruidos con multicapas), molido y peletizado. El producto final es utilizado, entre otras aplicaciones, en el moldeo de recipientes multicapa; donde el material reciclado se encuentra entre dos capas de material virgen.

El PET reciclado mecánicamente proviene de dos grandes fuentes:

- Los residuos provenientes de los procesos de fabricación, es decir, los residuos que quedan al pie de la máquina, tanto en la industria petroquímica como en la transformadora. A esta clase de residuos se la denomina scrap. El scrap es más fácil de reciclar porque está limpio y es homogéneo en su composición, ya que no está mezclado con otros tipos de plásticos. Algunos procesos de transformación (como el termoformado) generan el 30-50% de scrap, que normalmente se recicla.
- Los residuos plásticos proveniente de la masa de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

4.3- Reciclado químico o recuperación de los constituyentes iniciales

Es el proceso mediante el cual, ocurre la descomposición de los plásticos en productos intermedios o en las sustancias petroquímicas de partida. Los constituyentes de partida regenerados son purificados y el polímero puede ser sintetizado nuevamente, obteniéndose un nuevo producto que puede ser transformado.

Este método comenzó a ser desarrollado por la industria petroquímica con el objetivo de lograr las metas propuestas para la optimización de recursos y recuperación de residuos. Algunos métodos de reciclado químico ofrecen la ventaja de no tener que separar tipos de resina plástica, es decir, que pueden tomar residuos plásticos mixtos reduciendo de esta manera los costos de recolección y clasificación. Dando origen a productos finales de muy buena calidad.

Esta alternativa de reciclado conduce a un amplio número de productos, dependiendo de las condiciones en que se realice (agente depolimerizante, temperatura de reacción, presión). Reportándose el uso de esta tecnología con el fin de (a) obtención de los materiales de partida para la regeneración del polímero y (b) manufactura de productos especiales de baja o media masa molecular (polioles), usados en la síntesis de poliuretanos, resinas de poliéster insaturado, aditivos para varias aplicaciones, entre otros./24/

Los principales procesos existentes son:

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

- **Hidrogenación:** En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.
- **Gasificación:** Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno. Así se obtienen los siguientes gases de síntesis: monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco o incluso como agentes para la producción de acero en hornos de venteo.
- **Quimiólisis:** Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resinas. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.
- **Metanólisis:** Es un avanzado proceso de reciclado (ver figura 3 del Anexo), que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET), es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen. Varios productores de polietilentereftalato están intentando de desarrollar este proceso para utilizarlo en las botellas de bebidas carbonadas. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como Hoechst-Celanese, DuPont e Eastman han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET./22,23/

Estos procesos tienen diferentes costos y características. Algunos, como la quimiólisis y la metanólisis, requieren residuos plásticos separados por tipo de resina. En cambio la pirólisis permite utilizar residuos plásticos mixtos.

4.4- Perspectivas de los métodos de reciclado para el PET a nivel mundial

El PET es un material que acepta perfectamente su reciclado. En Europa, es a partir de la aprobación de la Directiva Comunitaria 94/62/CE, que establece el marco de actuación en el que se han de mover los Estados miembros en lo que respecta a la política sobre los envases y los residuos de envases que se generan en sus respectivos territorios, cuando el envase de PET sufre un auge muy importante en su recuperación.

Hace apenas diez o quince años, existían muy pocos recuperadores de PET, obteniendo una producción muy pequeña, principalmente a partir del material recuperado en plantas de reciclaje de RSU.

En el caso del reciclado químico se encuentra hoy en una etapa experimental avanzada. Es de suponer que en los próximos años pueda transformarse en una poderosa y moderna herramienta para tratar los residuos plásticos. El éxito dependerá del entendimiento que pueda establecerse entre todos los actores de la cadena: petroquímicas, transformadores, grandes usuarios, consumidores y municipios, a los fines de asegurar la unidad de reciclado y que la materia prima llegue a una planta de tratamiento.

La sociedad debe estar preparada para asimilar tal cambio de tecnología, que supone el conocimiento de los criterios de selección y separación de los envases por tipo de resina para

facilitar su reciclado. Por su parte, la industria petroquímica está trabajando en la definición de especificaciones técnicas a los fines de garantizar la calidad de los productos obtenidos a través del reciclado químico.

Si bien el reciclado mecánico se halla en un estado más evolucionado, éste método por si solo no alcanza para resolver el problema de los residuos plásticos. No sería inteligente desdeñar cualquier otra forma de tratamiento por incipiente que fuera. Lo que hoy parece muy lejano puede que dentro de las próximas dos décadas se convierta en una realidad concreta. En el caso de los plásticos se debe tener en cuenta que se trata de hidrocarburos, por lo que, para un recurso no renovable como el petróleo, es especialmente importante desarrollar técnicas como el reciclado químico para generar futuras fuentes de recursos energéticos. Los plásticos post-consumo de hoy pueden considerarse como los combustibles o las materias primas del mañana. Además, el reciclado químico contribuirá con la optimización y ahorro de los recursos naturales al reducir el consumo de petróleo crudo para la industria petroquímica.

De todas las alternativas de valorización quizá ninguna esté hecha tan a medida de los plásticos como el reciclado químico. Es muy probable que se transforme en la vía más apropiada de recuperación de los residuos plásticos, tanto domiciliarios como los provenientes del scrap (post-industrial), obteniéndose materia prima de calidad idéntica a la virgen. Esto contrasta con el reciclado mecánico, donde no siempre se puede asegurar una buena y constante calidad del producto final. El reciclado químico ofrece posibilidades que resuelven las limitaciones del reciclado mecánico, que necesita grandes cantidades de residuos plásticos limpios, separados y homogéneos para poder garantizar la calidad del producto final. Los residuos plásticos domiciliarios suelen estar compuestos por plásticos livianos, pequeños, fundamentalmente provenientes de los envases, pueden estar sucios y presentar sustancias alimenticias. Todo esto dificulta la calidad final del reciclado mecánico, ya que se obtiene un plástico más pobre comparado con la resina virgen.

Por lo tanto, los productos hechos de plástico así reciclado se dirigen a mercados finales de precios bajos. Por el contrario, el reciclado químico supera estos inconvenientes, ya que no es necesaria la clasificación de los distintos tipos de resinas plásticas proveniente de los residuos. En este proceso pueden ser tratados en forma mixta, reduciendo costos de recolección y clasificación. Además, lleva a productos finales de alta calidad que sí garantizan un mercado.

Toda estrategia de gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos debe prever y contemplar la posibilidad del reciclado químico. El tratamiento de los residuos plásticos no puede ser resuelto unilateralmente por uno u otro proceso, debiendo analizarse las diferentes alternativas de reciclado.

4.4.1- Los métodos de reciclado para el PET en Cuba: estudios realizados

Resulta necesario realizar un estudio minucioso de los métodos convencionales de reciclado mecánico y químico y su posibilidad de aplicación en condiciones tropicales, ya que en el caso del método reducción en la fuente, nuestro país no cuenta con la tecnología para sintetizar el PET.

Con respecto al reciclado mecánico del PET este cuenta con un gran inconveniente que es la pérdida de peso molecular (lo que implica pérdida de propiedades mecánicas y estructurales); hecho sobre el que se han realizado investigaciones (Giannotta, 1994; Curry, 1990), reportándose los efectos producidos, sobre la viscosidad intrínseca (V.I) de este material, por la presencia de trazas de policloruro de vinilo, humedad retenida, y contaminantes (fundamentalmente restos de pegamentos). Estos resultados han sido corroborados en investigaciones realizadas por el Grupo de Investigación del Plástico, de la Universidad de Holguín, en colaboración con la Universidad de

Oriente y la Universidad Alemana de Aalen, donde se han reportado cambios estructurales en el PET debido fundamentalmente a las condiciones de transformación a las cuales está sometido el material y a la presencia de humedad en su interior, lo que ha traído como consecuencia pérdida de sus propiedades mecánicas y estructurales debido a la ruptura de cadenas en el interior del polímero. Estas propiedades fueron evaluadas a través de la viscosidad intrínseca, la densidad, la espectroscopía infrarroja y las propiedades mecánicas, fundamentalmente, los resultados más significativos se muestran en las tabla 3.1 y 3.2 del anexo./25-27/

En el caso del reciclado químico como otra de las alternativas más empleadas en la reutilización del PET postconsumo y que está basado en la despolimerización (ruptura de cadenas) del PET, por solvolisis de los enlaces éster, llevándolo a sus componentes de partida, que son empleados en la síntesis de resinas de poliéster insaturado (Abdel-Azim, 1999), y en la manufactura de resinas alquílicas y otras aplicaciones (Paszun,1997), la investigación se encamina a la exploración de este método de reciclado como una alternativa más, siempre bajo la consideración de que resulta imprescindible realizar ajustes al procedimiento empleado, pues como asevera el Dr.C Fidel Castro Díaz-Balart en su obra “Ciencia, Tecnología y Sociedad” : “...se debe trabajar para adaptar y desarrollar tecnologías existentes por parte de los científicos del Sur que sean apropiadas para las condiciones de nuestros países, incluso cuando las tecnologías se importan del extranjero, se necesitan investigaciones para hacerlas funcionar, y en lugar de insistir en desarrollar tecnologías autóctonas, cuando ya existen tecnologías abundantes y probadas, los científicos pueden ayudar a seleccionar las más adecuadas, considerando las condiciones locales y las materias primas disponibles, y aprender a utilizarlas”/ 28/.

Este comentario resulta pertinente ya que, los métodos de reciclado químico aún se encuentran en fase de estudio avanzado, pero además no se ha socializado todavía el know-how de estos métodos, lo que obliga a los investigadores a continuar la búsqueda y, ajustar los parámetros que fijan su uso a las condiciones propias de cada país.

Bajo estos principios se están realizando los estudios experimentales correspondientes a esta etapa, en el laboratorio de caracterizaciones químicas para polímeros de la Universidad de Holguín, los cuales contemplan: la selección del solvente más indicado que en proporciones estequiométricas, y de temperatura y presión, sea capaz de provocar la despolimerización del PET postconsumo, llevándolo a sus monómeros de partida (ácido tereftálico y etilenglicol), los cuales deben ser debidamente identificados mediante ensayos químicos y evaluar su grado de pureza. Luego se realizarán varias réplicas del experimento con vistas a corroborar los resultados obtenidos, los cuales posteriormente serán llevados de escala de laboratorio a escala de planta piloto para su ensayo posterior.

Una vez establecido el método de reciclado químico seleccionado, se procederá a realizar el cálculo económico de la alternativa propuesta, la cual debe cumplir que sea factible tanto económica como medioambientalmente, en función de los indicadores o criterios que se considere pertinente.

Ideas claves

1. El reciclado de residuos sólidos plásticos, constituye una necesidad para resolver una parte de la problemática medioambiental;
2. Corresponde a los países del Sur y en particular a Cuba, desarrollar la adecuación de los métodos de reciclado existentes a las exigencias propias de las condiciones en las cuales van a ser utilizados promoviendo, de esta manera, el desarrollo de la ciencia y la tecnología;
3. Escoger el método de reciclado adecuado para reducir las cantidades acumuladas de PET postconsumo, puede constituir un renglón exportable en nuestro país;
4. La selección y aplicación de métodos y estrategias adecuados a la gestión de los residuos de PET, es una alternativa viable para alcanzar una calidad ambiental digna.

Bibliografía citada

1. S/A. "Los plásticos: materiales de nuestro tiempo"/ Barcelona: Ed Conferencia Española de Empresarios de Plásticos y Centro Español de Plásticos, 1991, pp 112-113.
2. Hellerich, W. "Guía de los materiales plásticos"/ Barcelona: Ed Hanser Editorial, 1989, pp 1, 13-14, 83-86.
3. www.envapack.com "El Polietilentereftalato". Revisado: 10/03/2006
4. Ciencia, Innovación y Desarrollo. Revista de información científica y tecnológica. Vol 6 No. 2, 2001.
5. Ciencia, Innovación y Desarrollo. Revista de información científica y tecnológica. Vol 5 No. 2, 2000.
6. Ciencia, Innovación y Desarrollo. Revista de información científica y tecnológica. Vol 6 No. 1, 2001.
7. Ciencia, Innovación y Desarrollo. Revista de información científica y tecnológica. Vol 7 No. 2, 2001.
8. Núñez Jover, Jorge. "Ciencia, Tecnología y Sociedad." En: Problemas sociales de la ciencia y la tecnología: ensayos. La Habana: Editorial Félix Varela, 1994. pp. 100-114.
9. www.estrucplan.com.ar "Reciclado de envases de PET". Revisado 31/01/2008.
10. Kint, R. P. Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry, Vol. 39, 3250-3262 August 2001.
11. Kint, R. P. Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry, Vol. 39, 1553-1564 May 2001.
12. Kint, R. P. Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry, Vol. 38, 1934-1942 January 2000.
13. S/A "Llamada para un apoyo al reciclado" Revista Plásticos Modernos/, No 453, Marzo, 1994.
14. García Mesa, Raúl. "Ecología e impacto tecnológico." En: Problemas sociales de la ciencia y la tecnología: ensayos. La Habana: Editorial Félix Varela, 1994. pp. 219-231.
15. Díaz Caballero, José R. "El desarrollo científico-técnico y la interrelación sociedad-naturaleza." En: Tecnología y Sociedad. La Habana: Editorial Félix Varela, 2006. pp169-177.
16. Pupo González, Alexis "Estudio del envejecimiento ambiental de materiales poliméricos termoplásticos y ensayo de sus propiedades". Tesis de Diploma. Holguín, Cuba: Universidad de Holguín; 2003.
17. www.monografias.com "El reciclaje de los Residuos Sólidos Plásticos como alternativa para mejorar la calidad ambiental". Revisado 31/01/2008.
18. NC 133:2002" Residuos Sólidos Urbanos- Almacenamiento, Recolección Y Transportación – Requisitos Higiénico Sanitarios Y Ambientales". Versión digital.
19. Colectivo de autores "Curso de Universidad para todos: Protección ambiental y producciones + limpias parte 1". Grupo de Edición Editorial Academia, Cuba.2006
20. Cuba. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. "Estrategia Nacional de Educación Ambiental". La Habana: Centro de Información y Divulgación Ambiental, 1997. Versión digital.
21. Colectivo de autores "Informe GEO Ciudad". Proyecto Agenda 21 Local/GEO. Ciudad de Holguín. Cuba; 2005.
22. www.ecoport.net "El reciclado de plásticos". Revisado 1/2/2008.
23. <http://foodsci.unl.edu/fmc/6plastic.htm> "Recycling Processes for Plastic Food Containers. State of the Art Report Food Manufacturing Coalition for Innovation and Technology Transfer". Revisado: 10/02/2008.
24. Paszun D. y Spychaj T. "Chemical Recycling of Poly (ethylene terephthalate)". Polymer Institute, Technical University of Szczecin, ul. Pulaskiego 10, 70-322 Szczecin, Poland. 1997.
25. Velázquez, J. I. "Estudio sobre el proceso de reciclado de las botellas de polietilentereftalato". Trabajo de Diploma. Santiago de Cuba, Cuba: Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas CNM; 2000.
26. Hidalgo de la Peña, Alexander "Estudio de los efectos producidos por las condiciones de transformación en el polietilentereftalato (PET)". Tesis de Diploma. Santiago de Cuba, Cuba: Universidad de Oriente: 2002.
27. Ferro Nieto, Alyn "Study of the thermomechanical behaviour and processing conditions for recycled PET". En: ENGINEERING WITH POLYMERS: A Europe-Latin America research experience, 2007.
28. Castro Díaz-Balart, F. "Ciencia, Tecnología y Sociedad". Editorial científico-técnica, la Habana, 2004. pp 45-52.

Bibliografía consultada

1. Ayes G. (2003). Medio Ambiente impacto y desarrollo. Editorial científico-técnica, la Habana, pp 5 – 32.
2. Catley-Carlson, Margaret. “Contaminación ambiental: un problema global.” *Universitas* 2000. 17 (2 y 3): pp 121-132 (1993).
3. Cuba. Ministerio de Justicia. “Ley No. 81 del Medio Ambiente”. La Habana: Gaceta Oficial de la República, 11 de Julio de 1997. pp 31.
4. López Tamayo, Y. “Evaluación de estudios de impacto ambiental”. Folleto en soporte magnético. CITMA. Holguín.
5. Norma Boliviana NB 742 Residuos Sólidos (en español). Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). Versión digital.
6. Núñez Jover, Jorge “La Ciencia y la Tecnología como procesos sociales”. Documento en Versión digital pdf.
7. Proyecto de Ciudadanía Ambiental Global” Manual de Cambio Climático”.versión digital pdf. pp 26-27.
8. Septién G. “La industria del reciclaje y la recuperación de materiales secundarios”, conferencia dictada en el taller científico de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales”. Versión digital.

Anexos

1- Tabla 1. Composición de los residuos sólidos en algunas regiones del mundo

| Residuo | Estados Unidos de América | Europa | Buenos Aires, Argentina |
|--------------|---------------------------|--------|-------------------------|
| Orgánico | 29% | 37% | 40% |
| Papel/Cartón | 41 | 28 | 24 |
| Metal | 8 | 3 | 3 |
| Vidrio | 6 | 17 | 5 |
| Otros | 7 | 6 | 14 |
| Plásticos | 9 | 9 | 14 |

Fuente: United States Environmental Protection Agency, European Environmental Agency , Coordinación ecológica del área metropolitana sociedad del estado, Gobierno de la ciudad de Buenos Aires.

2- Tabla 2. Terminología empleada en ingeniería ambiental para el manejo de residuos sólidos urbanos

| | |
|----------------|---|
| Recuperación. | Proceso para extraer <u>materiales</u> : papel, cartón, <u>plástico</u> , <u>vidrio</u> , <u>metales</u> ferrosos y no-ferrosos, textiles y orgánicos del flujo de desperdicios sólidos para reintegrarse a la cadena de uso. |
| Reciclaje. | Proceso por el que un material previamente recuperado del flujo de desperdicios sólidos se reintegra a la cadena de uso. |
| Reutilización. | Utilizar un <u>producto</u> para un fin distinto al que tuvo originalmente. |

Fuente:Glosario de ingeniería ambiental. En: <http://ecoporv2.rednetargentina.com/glosario>

3- Tabla 3 Principales resultados obtenidos en los ensayos físicos realizados a muestras de PET post consumo procesadas mediante reciclado mecánico

| Parámetros experimentales | PET virgen | PET reciclado | Observaciones |
|-------------------------------|------------|---------------|--|
| Viscosidad intrínseca | 0.50* | 0.25** | Se observa pérdida del peso molecular por efecto de las condiciones de transformación y la humedad absorbida del medio ambiente por el material. |
| Densidad (g/cm ³) | 1.37* | 1.30** | Se aprecia disminución de la densidad como resultado del proceso de transformación. |

* Fuente de referencia: Hellerich, W. "Guía de los materiales plásticos"/ Barcelona: Ed Hanser Editorial, 1989.

** Fuente de referencia: Ferro Nieto, Alyn "Study of the thermomechanical behaviour and processing conditions for recycled PET". En: ENGINEERING WITH POLYMERS: A Europe-Latin America research experience, 2007.

4- Tabla 4 Principales resultados obtenidos en los ensayos mecánicos físicos realizados a muestras de PET postconsumo procesadas mediante reciclado mecánico

| Parámetros experimentales | PET virgen | PET reciclado | Observaciones | |
|---------------------------|---------------------|---------------|---------------|--|
| Ensayos de tensión | $\epsilon_{ZR}(\%)$ | 20- 30* | 1.9** | Como $\epsilon_{ZR} = \epsilon_{ZM}$, el material reciclado es quebradizo, no apto para soportar grandes esfuerzos. |
| | $\epsilon_{ZM}(\%)$ | 30- 40* | 1.9** | |
| Ensayo de contracción | $\Delta L (\%)$ | 0.3-0.8* | 1.8-2.4** | Las diferencias observadas en estos valores indican la cristalización de las estructuras internas del polímero lo que confirma que una vez reciclado el material sometido a altas temperaturas se vuelve quebradizo. |
| Impacto | $a_{CA} (KJ/m^2)$ | 3-4* | 1.7-2.5** | Los resultados obtenidos confirman que se trata de un material quebradizo. |

* Fuente de referencia: Hellerich, W. "Guía de los materiales plásticos"/ Barcelona: Ed Hanser Editorial, 1989.

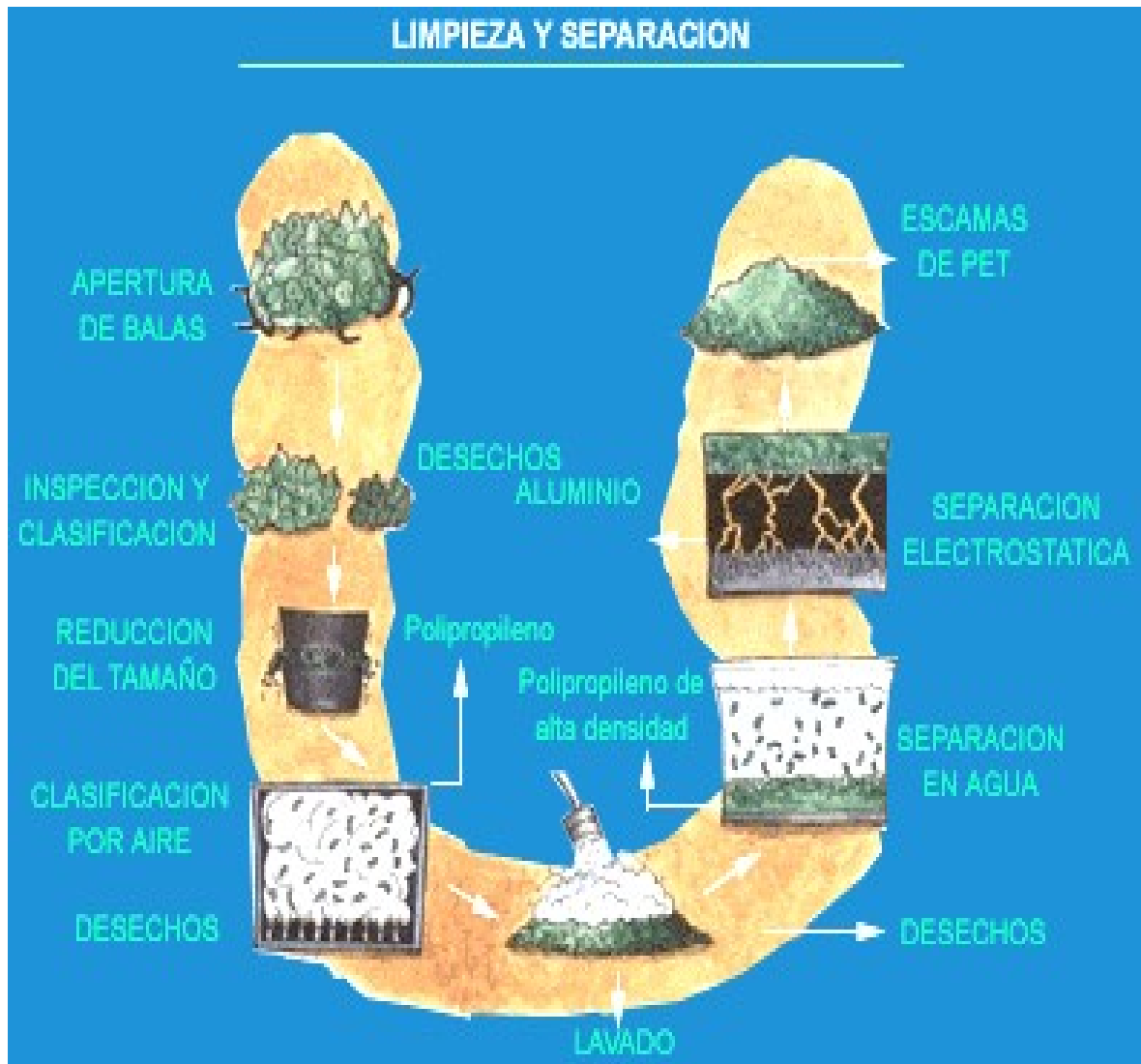
** Fuente de referencia: Ferro Nieto, Alyn "Study of the thermomechanical behaviour and processing conditions for recycled PET". En: ENGINEERING WITH POLYMERS: A Europe-Latin America research experience, 2007.

Nomenclatura: ϵ_{ZR} : Alargamiento hasta rotura, (%); ϵ_{ZM} : Alargamiento en tensión máxima, (%)
 ΔL : Contracción total, (%); a_{CA} : Energía absorbida en el impacto, (KJ/m²)

5- Figura 1: ciclo de vida del PET



6- Figura 2: etapa de limpieza y separación para el reciclado mecánico



7- Figura 3: esquema del proceso de metanolisis (método químico para el reciclado del PET)

