



SISTEMAS DE RECICLAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS (PLÁSTICOS, PAPEL Y VIDRIO). REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Systems for recycling solid waste (plastic, paper and glass). Review of the state of the art

*Uriel Fernando Carreño**¹

¹Departamento de investigación, Ingeniería industrial, Corporación Universitaria Unitec, Colombia.

*Autor correspondiente/corresponding author: Correo electrónico/E-mail: investigador6@unitec.edu.co

RESUMEN

El aprovechamiento de los residuos sólidos es una práctica interesante desde el punto de vista social, ambiental, académico y económico debido a que se reducen las cantidades exorbitantes de residuos que llegan a los rellenos sanitarios mitigando los diferentes impactos que estos ocasionan. Desde el punto de vista académico es una práctica de interés investigativo debido a que muy pocas entidades educativas en Colombia invierten en ello, siendo un tema relevante en muchas instituciones educativas en el mundo. Desde el punto de vista de viabilidad económica es pertinente debido a que estos productos serían la materia prima de otros procesos productivos. En esta revisión se aborda las diferentes investigaciones sobre los aprovechamientos de los residuos sólidos como papel, vidrio y plásticos. También se tiene en cuenta los costos en la implementación de sistemas de reciclaje de cada uno de estos residuos, la logística en la implementación y la distribución en planta de un sistema de reciclaje. Se concluye la viabilidad técnica y económica en el aprovechamiento de los diferentes productos llamados “basuras”.

Palabras claves: Residuos sólidos, reciclaje sistemas, Plástico, Vidrio, Papel.

Abstract

the use of solid waste is an interesting practice in terms of social, environmental, academic and economically because the exorbitant amounts of waste going to landfills mitigating the different impacts they cause are reduced. From the academic point of view it is a practice of research interest because very few educational institutions in Colombia invest in it, being an important issue in many educational institutions in the world. From the point of view of economic viability is relevant because these products would be the raw material for other production processes. In this review the different investigations concerning the uses of solid waste such as paper, glass and plastics are discussed. It also takes into account the costs in implementing recycling systems each of these residues in implementing logistics and distribution in plant recycling system. The technical and economic viability in the use of different products called "garbage" is concluded.

Keywords. Solid waste, recycling systems, plastic, glass, paper.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se pueden ver como los océanos en el mundo tienen grandes "islas" de residuos sólidos generando graves impactos a la vida marina, también se pueden observar nuestros ríos, lagos o humedales contaminados con grandes cantidades de residuos que en su mayoría son plásticos, vidrios y residuos orgánicos entre otros.

A pesar de los beneficios de la reducción de los residuos, la puesta en marcha de un sistema para manejarlos no es tarea sencilla. De Vega et al. (2006) mencionan que para enfrentar los problemas de manejo de residuos, se pueden utilizar diversas alternativas, entre éstas están los distintos aprovechamientos de estos residuos a través del reciclaje.

Ackerman et al. (1997); Goldberg (2014) definen el reciclaje como un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos para prevenir el desuso de materiales potencialmente útiles, reducir el consumo de nueva materia prima, reducir el uso de energía, reducir la contaminación del aire (a través de la incineración) y del agua (a través de los vertederos) por medio de la reducción de la necesidad de los sistemas de desechos

convencionales, así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos. El reciclaje es un componente clave en la reducción de desechos contemporáneos y es el tercer componente de las 3R ("Reducir, Reutilizar, Reciclar").

Históricamente, el reciclaje se ha iniciado debido a los materiales reciclables tenían valor (Miller 2000). Las consideraciones ambientales y los requisitos reglamentarios han dado lugar a la expansión de los servicios que se encuentran en los países industrializados (Tanskanen & Kaila 2001), (Bohm et al. 2010) y (Miranda y Blanco 2010).

Se estima que Colombia produce aproximadamente 23 mil toneladas diarias de basura, de las cuales Bogotá tiene una participación de aproximadamente el 21 % del total, esto quiere decir que se están generando unas 6500 toneladas de residuos diarias (Romero 2013), de las cuales se separa en la fuente tan solo el 10 %. Además una gran parte de estos residuos debidamente separados son llevados otra vez al relleno sanitario debido a que no se sabe qué hacer con ellos, siendo una grave pérdida debido a que en su mayoría estos residuos se pueden reutilizar o reciclar, siendo

el plástico uno de los materiales más contaminantes y de muy baja la tasa de biodegradación (Suarez 2013).

Llerena et al. (2011), establece que hoy en día, la inadecuada gestión de residuos sólidos es un problema constante de las sociedades modernas ya que implica riesgos en la salud, en el medio ambiente y pérdidas económicas. Un ejemplo es el caso de las diferentes ciudades en Colombia, donde la disposición final, no es del todo adecuada; sin embargo, existen una serie de alternativas que podrían ponerse en práctica para aprovechar dichos desechos y generar nuevos beneficios (Romero, 2013).

A continuación se abordarán los diferentes sistemas de reciclaje de residuos sólidos como plástico, papel y vidrio, entrando luego a encontrar la viabilidad económica y por último se citaran algunos estudios de casos en instituciones educativas.

Reciclaje de residuos plásticos

En esta sección, se abordará la temática sobre el reciclaje de residuos plásticos, especialmente el tema sobre las botellas plásticas hechas con tereftalato de polietileno (PET), estas botellas plásticas se usan en grandes cantidades en escuelas, universidades, casas etc., sin tener una disposición final adecuada y mucho menos un proceso de reciclaje para su posterior uso.

La industria de la construcción se ha visto beneficiada con el reciclaje de botellas plásticas, donde es una alternativa tecnológica, para la construcción de viviendas, por ende más económicas, resistentes, de calidad y durables; se basa en la reutilización de las botellas de plástico (tereftalato de polietileno) PET, para la fabricación de cimientos corridos, en sustitución de la piedra desplazadora del hormigón. (García et al. 2014, Silva

et al.2013, Foti & Paparella 2014, Saikia & Brito 2014, Castro et al.2011).

Chong et al. (2014) investigo como se puede reciclar el plástico, siendo difícil debido a sus características intrínsecas. La separación de (PET) a partir de plásticos de residuos municipales por flotación por espuma combinada con el tratamiento previo alcalino se investigó para el reciclaje de la industria. Este estudio facilita la aplicación industrial de los plásticos de flotación y proporciona una visión técnica en el reciclaje de los residuos plásticos.

Firas & Pavel (2005) y Siddiqui et al. (2012), concluyeron que el reciclado de PET, es una práctica interdisciplinaria. Éstos incluyen la química de polímeros y la física, la ingeniería de procesos e ingeniería de fabricación.

Chilton et al. (2010) desarrollo una metodología para el PET, recogidos por sistemas de reciclado fuente-segregación puede ser tratado por medios mecánicos y químicos para eliminar cualquier contaminante. La PET puede limpiarse, después ser fundido y formado en gránulos con las mismas propiedades físicas como el PET virgen.

En la Tabla 1, se muestran diferentes tecnologías, asociadas con el proceso de transformación de PET.

Sistemas de reciclaje de residuos de vidrio y de papel.

Reyna et al. (2013), han realizado ensayos para obtener cartón a partir de papel usado. El cartón obtenido fue sometido a pruebas de resistencia a la tensión. Los resultados indican que la carga de ruptura disminuye con la concentración de pulpa mientras que la longitud de ruptura se comporta irregularmente.

Tecalco (2013), diseñó e implemento un sistema de reciclaje de papel en la Univer-

Fuente	Año	Proceso
Shukla et al. (2007)	2007	(PET) se despolimerizan inicialmente utilizando una ruta glucólisis en presencia de sulfato de sodio como un catalizador, su uso como suavizante en el proceso textil.
Chong et al. (2014)	2014	La separación de (PET) a partir de plásticos de residuos municipales por flotación por espuma combinada con el tratamiento previo alcalino se investigó para el reciclaje de la industria.
Firas & Pavel (2005)	2005	Proceso de reciclaje de botellas (PET), proceso de pirolisis.
Foti & Paparella (2014)	2014	Establecieron una metodología para reforzar el hormigón con botellas (PET).
Nait et al. (2014)	2014	Cambios mecánicos con una estructura a materiales de botellas (PET)
Barriocanal et al. (2004)	2004	Mezcla de botellas (PET) con agua carbonatada como proceso de reciclaje para su posterior comercialización.
Nahid et al. (2012)	2012	En este estudio, la pirolisis metanólico (metanólisis) (PET), bajo irradiación de microondas
Rutkowski (2013)	2013	Pirolisis de botellas (PET) como proceso de reciclaje.
Taafe (2014)	2014	Los Eco-ladrillos se forman por el embalaje de plástico dentro de (PET).
Chilton et al. (2010)	2010	(PET) recogidos por sistemas de reciclado fuente-segregación puede ser tratado por medios mecánicos y químicos para eliminar cualquier contaminante.
Akçaözog et al, (2014)	2014	Utilización de botellas plásticas recicladas con diferentes tipos de químicos para la reutilización
García et al. (2014)	2014	Reemplazo de hormigón con botellas plásticas (PET)
López et al (2014)	2014	El estudio se realizó a través de 60 muestras de cinco tipos de envases, en presentaciones tipo hoja de 100 x 100 mm y 1.5 mm de espesor. Para visualizar el comportamiento de fluencia térmica se recurrió al uso del proceso de termoformado por gravedad.

TABLA 1. DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO).

Different treatment processes PET (polyethylene terephthalate).

alidad de Xalapa, Ramírez y Pineda (2014) realizaron un estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la comercialización de papel y cartón reciclado, también Ramos (2014) realizó un estudio de factibilidad para la creación de una microempresa productora de bolsas de papel para regalo a base de papel reciclado y su comercialización en el cantón Marcabelí, provincia de el oro.

Un estudio técnico realizado por Sulbarán et al. (2014) sobre la aplicación de enzimas para descomponer la celulosa en el papel para las diferentes comercializaciones de los azúcares. Inche et al. (2014) diseñaron y desarrollaron un prototipo a partir de envases tetra pack reciclado.

Diversos autores (e.g., Emam & Tersawy 2012, Kou & Poon 2013, Taha & Nounu 2012, Lee et al. 2013, Terro 2012) realizaron

un conjunto de pruebas geotécnicas de muestras de vidrio triturado reciclado para reemplazarlo en hormigón. Disfani et al. (2011) en Victoria, Australia probaron tres tipos de fuentes de vidrio reciclado: grueso, medio y vidrio de tamaño fino. Los resultados de las pruebas de laboratorio indican que las fuentes de vidrio reciclado medianas y finas muestran un comportamiento geotécnico similar a los agregados naturales como la arenas y arcillas.

Nassar & Soroushian (2012) y Hejazi et al. (2012) realizaron diferentes estudios sobre residuos de vidrio molido utilizándolo como material de cemento secundario hacia la producción de hormigón con una mejor resistencia y durabilidad de los materiales usados comúnmente en este proceso.

Ling et al. (2011) investigaron sobre la viabilidad del uso de vidrio reciclado, como un reemplazo de agregado fino en la arquitectura de mortero de cemento blanco.

Fauziah Ahmad et al. (2012) realizaron series de experimentos para investigar las propiedades mecánicas de vidrio de grado electrónico.

Zhan et al. (2014) presentaron los resultados de un programa experimental en el estudio de la utilización de un proceso de carbonatación para mejorar las propiedades de los vidrios reciclados. Hormigones endurecidos preparados mediante el uso de diferentes relaciones agua-cemento en el laboratorio, se trituran para producir áridos reciclados con diferentes tamaños de partículas. También Zhan et al. (2013), Cong et al. (2014) y Visser (2014), estudiaron la influencia de la concentración de dióxido de carbono en la resistencia a la carbonatación del hormigón.

Por otro lado Korkmanz et al. (2009) y Sánchez et al. (2010) experimentaron sobre el proceso de pirolisis del tetra park separando debidamente el polietileno y el aluminio de este material.

Reciclaje en instituciones educativas

En distintas universidades de la ciudad de Bogotá se ha establecido el reciclaje como un objetivo fundamental, como en el caso de la universidad nacional, donde hay un programa de disminución del papel pero no se ha implementado una planta de reciclaje de diferentes residuos sólidos (Poveda & Pavón, 2010), además ninguna institución educativa aprovecha los residuos plásticos que podrían ser de gran utilidad (Suarez 2013).

Montoya & Martínez (2013) proponen un proyecto de investigación piloto que promueva un adecuado manejo de residuos sólidos con el objeto de iniciar la minimización de residuos en la universidad del Bosque y proyectarlo a otras empresas.

Merino & Duran (2014) proponen una guía de Ambiental para la separación de la basura en la Unidad Educativa José Martí, del Cantón Santa Clara Provincia de Pastaza, dirigido a docentes, estudiantes, personal administrativo y de servicio sobre el manejo adecuado de los desechos sólidos. El método se basó en la observación sobre la realidad del sector educativo, determinando que la contaminación está dada por el mal manejo de los desechos sólidos en la Unidad Educativa, con daños ambientales por la contaminación del recurso suelo, agua, afecciones a la salud, la destrucción de la flora y fauna silvestre.

Además de generar beneficios ambientales-económicos también hay un beneficio en los temas de nuevos conocimientos ya que estas diferentes tecnologías son rara vez implementadas en las diferentes universidades (véase Maldonado 2006, Najjar et al. 2005). Además los residuos plásticos si se separan adecuadamente en la fuente y se implementan los sistemas correspondientes pueden ser de gran utilidad económica (Suarez 2013).

Después de ser separados se deben tener estrategias para su máximo aprovechamiento.

to, tal es el caso de Neves (1999), que diseñaron y aplicaron una planta de reciclaje de envases tetra pak a pequeña escala en España.

Una de las recomendaciones realizadas por (León & Montenegro 2010) donde concluyen que para lograr competitividad en el sector del reciclaje y tener una empresa que se solidifique y perdure en el tiempo, es necesario desarrollar patrones empresariales y propuestas sostenibles, con lineamientos administrativos adecuados. Otro de los aspectos que hay que tener en cuenta permanentemente es la fijación de estrategias que motiven a los estudiantes a entregar los residuos sólidos reciclables.

Al aprovechar al máximo cada uno de los residuos clasificados e implementar unas plantas de tratamiento, tal es el caso de Martínez (2010), que diseñó e instaló una planta de reciclaje de basura (plástico, papel y vidrio) en un relleno sanitario además concluyo que el reciclaje y cada una de sus estrategias pueden reducir significativamente los impactos ambientales ya que se utilizó los residuos plásticos como insumo energético en las calderas de varios procesos.

Colledani & Tolio (2013), diseñaron un modelo de sistema de reciclaje de niveles múltiples que integra la dinámica de la física del proceso y del sistema.

Costos en la implementación

Lesmes & Salazar (2014) desarrollaron modelo de negocio, como lo son la investigación de mercados, el estudio técnico, el estudio organizacional, la sostenibilidad empresarial y el estudio financiero.

Los costos de evacuación que generan los residuos sólidos son muy elevados tal es el caso de estudio de Jacob (2003), y su grupo de investigación permitieron actualizar y adoptar las mejores opciones a las necesida-

des y prioridades para la ciudad de Mar del Plata, teniendo en cuenta la regulación del relleno sanitario y la reducción de las emisiones con los resultados de los residuos sólidos generados, costos de combustible en recolección y transporte, emisiones al aire, agua y tierra, recuperación y ahorro energético por el reciclado de materiales y tratamiento biológico.

Muchas evaluaciones de los programas más recientes incluyen las externalidades económicas en sus cálculos, la fijación de precios en los beneficios ambientales (e.g., Beigl & Salhofer 2004, Emery et al. 2007, Manfredi et al. 2011, Yoshida et al. 2012) y /o preferencias residentes (e.g., Powell 1996, Huhtala 1997, Lee 1999, Aadland & Caplan, 2006), debido a que “el sistema más barato puede no ser la más benigna con el medio ambiente” (Chang et al. 2011). Esto es especialmente cierto cuando se encuentra recogida reciclables separados (o se supone) a ser más caro que la eliminación (Beede & Bloom 1995, Goddard 1995 & Hall 1995, teniendo en cuenta el reciclaje de papel en general, no sólo la separación en origen. Highfill & McAsey 1997, Masui et al. 2000, Tanskanen & Kaila 2001, Caplan et al. 2002, Beigl & Salhofer 2004, Blaine et al. 2005, Calcott & Walls 2005, Kinnaman 2005, Aadland & Caplan 2006, Bohm et al. 2010, Kuo & Perrings 2010, Bouvier & Wagner 2011, Yoshida et al. 2012). Adición de externalidades a menudo resulta en determinaciones que estos programas tienen costo-efectividad general (e.g., Craighill & Powell 1996, Masui et al. 2000, Lavee 2010), o sobre la base de los residentes ‘disposición a -Preste para los servicios, que los programas pueden ser rentables para la sociedad en su conjunto (Kinnaman 2005, Aadland & Caplan 2006). Goddard (1995) demostró que si la jerarquía de residuos (reducción de residuos, el reciclaje, conversión de residuos en energía la incineración y el

depósito en vertederos, por último) se justifica, que implica, si todas las externalidades se contabilizan, los costos marginales para el reciclaje deberían necesitar ser inferior a disposición (al menos inicialmente).

Diseño de sistemas de reciclaje de residuos sólidos.

Mejía et al. (2013) analizaron, recolectaron y pesaron muestras de residuos sólidos, tomadas durante dos semanas. Proponen transformaciones físicas que se pueden realizar en la operación de un sistema de gestión por separación de componentes, reducción mecánica de volumen y reducción de tamaño en forma mecánica.

Ramírez (2013) diseño un análisis geométrico en planos opuestos, brindando una óptica de movimiento y ensamble por su construcción, se investigaron forma de producción, materiales afines con el vidrio reciclado, comportamiento en diferentes espacios y la oportunidad de brindar un producto con materiales que no son utilizados para paneles divisorios.

Guano & Cunachi (2013) diseñaron un sistema de reciclaje compuesto por dos máquinas. La primera máquina, permite realizar una molienda intermedia, esto es, desmenuzar grandes residuos, mediante el uso de un molino de martillos. La segunda máquina pulveriza el material resultante del primer proceso, mediante el uso de un molino de bolas, donde se obtiene una molienda fina, que es el producto adecuado para otros procesos.

García (2014) presento un estudio de factibilidad sobre un piloto para reciclaje de papel en la zona universitaria de Xalapa, obteniendo beneficios económicos e investigativos para la universidad. También Correa & Cardona (2014) realizaron un estudio de factibilidad para la creación de una empresa

dedicada a la comercialización de papel y cartón reciclado.

Aguinaga et al. (2014) diseñaron una planta de recuperación de materiales definiendo la ubicación, capacidad, equipos necesarios, personal necesario, tiempo de trabajo de hombres y máquinas, determinación del número de personal requerido, y finalizando con los layouts y distribuciones de los diferentes departamentos. Así se llega al plano final de la planta recicladora propuesta. Para finalizar, se realizó una evaluación financiera del proyecto para determinar el monto de inversión y la viabilidad de este. Se calculó el retorno de la inversión (TIR), el valor presente neto (VPN o VAN), y el costo anual uniformemente equivalente (CAUE).

CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta revisión es diseñar diferentes plantas de reciclaje de vidrio, papel y plástico a escala piloto para el posterior aprovechamiento económico de estos residuos. Estas plantas recicladoras se diseñaran en diferentes instituciones de educación superior para fomentar el reciclaje en varias las zonas de la ciudad de Bogotá y para que sean autos sostenibles ya que podrían generar ingresos al aprovechar los residuos que son la materia prima para generar nuevos productos

Las botellas plásticas que comúnmente están hechas con Tereftalato de polietileno (PET), son desperdiciadas continuamente en los hogares, empresas y colegios entre otros, este producto podría ser la materia prima de un nuevo proceso productivo.

En las investigaciones realizadas sobre los residuos de papel, se establecieron las metodologías y la logística para el aprovechamiento de estas tecnologías, donde se podría replicar en instituciones educativas.

La aplicabilidad del reciclaje de residuos

sólidos puede convertirse en una fuente de propia industria debido al potencial que tienen estos productos para reincorporarse a los procesos productivos, siendo proyectos totalmente factibles.

LITERATURA CITADA

- AADLAND D & AJ CAPLAN (2000) Curbside recycling: waste resource or waste of resources? *Journal of Policy Analysis and Management* 25(4): 1-33.
- ACKERMAN F (1997) *Why Do We Recycle?: Markets, Values, and Public Policy*. Island Press.
- AGUINAGA S & G BONILLA (2013) *Diseño de una planta piloto de recuperación de materiales reciclables*. Tesis de Grado. Universidad Superior Técnica el Litoral, Ecuador.
- AHMAD A, D MUJAH, H HAZARIKA & A SAFARI (2011) Assessing the potential reuse of recycled glass fibre in problematic soil applications. *Journal of Cleaner Production* 35: 102-107.
- AKÇAÖZGÜLU & UL CÜNEYT (2014) Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends Semiha. *Construction and Building Materials* 58: 31-37.
- BARRIOCANAL C & R ÁLVAREZ (2004) PET recycling for the modification of precursors in carbon materials manufacture. *World Applied Sciences Journal* 8(7): 839-846.
- BEEDE DN & DE BLOOM (1995) The economics of municipal solid waste. *World Bank Res. Oxford Journals Social Sciences World Bank Research Observer* 10(2): 113-150.
- BEIGL P & S SALHOFE (2004) Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems. *Resources Conservation and Recycling* 41: 83-102.
- BEL G & M WARNER (2008) Does privatization of solid waste and water services reduce costs? A review of empirical studies. *Resources, Conservation and Recycling*. Department de Política Económica, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain.
- BLAINE TW, FR LICHTKOPPLER, KR JONES RH ZONDAG (2005) An assessment of household willingness to pay for curbside recycling: a comparison of payment card and referendum approaches. *Journal of Environment Management* 76(1): 15-22.
- BOHM RA, DH FOLZ, TC KINNAMAN & MJ PODOLSKY (2010) The costs of municipal wastes and recycling programs. *Resources, Conservation and Recycling* 54: 864-871.
- BOUVIER R & T WAGNER (2011) The influence of collection facility attributes on household collection rates of electronic waste: the case of televisions and computer monitors. *Resou. Department of environmental science and policy. A Journal of Nature and Culture* 2(1): 25-39.
- CALCOTT P & M WALLS (2005) Waste, recycling, and 'Design for Environment: roles for markets and policy instruments. *Resource and Energy Economics* 27: 283-305.
- CAPLAN AJ, TC GRIJALVA, PM JAKUS (2002) Waste not or want not? A contingent ranking analysis of curbside waste disposal options. *Applied Economics Faculty Publications. Ecological Economics* 43(2-3): 185-197.
- CASTRO V, A CERRUTO, CH CHAMBI & Q PÉREZ (2011) Botellas PET en el hormigón ciclópeo de los cimientos corridos para la construcción de viviendas. *Revista Investigación y Desarrollo* 6(6): 43-52.
- CHANG NB, A PIRES & G MARTINHO (2011) Empowering systems analysis for solid waste management: Challenges, trends, and perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 41(16): 1449-1530.
- CHILTON T, BURNLEY S & S NESARATNAM (2010) A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET. *Resources, Conservation and Recycling* 54(12): 1241-1249.
- CHONG-QING W, H WANG & L YOU-NIAN (2015) Separation of polyethylene terephthalate from municipal waste plastics by froth flotation for recycling industry. *Waste Management* 35: 42-47.
- COLLEDANI M & T TOLIO (2013) *Integrated*

- process and system modelling for the design of material recycling systems. *Procedia CIRP Annals-Manufacturing Technology* 62(1): 447-452.
- CORREA R & P CARDONA (2014) Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la comercialización de papel y cartón reciclado. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira. 105 pp.
- CRAIGHILLAL & JC POWELL JC (1996) Life-cycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. *Resources, Conservation and Recycling* 17: 75-96
- DE VEGA A, B OJEDA-BENÍTEZ & B RAMÍREZ-BARRETO & A QUINTANILLA-MONTOYA (2006) Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. *Ingeniería* 10-3: 13-21.
- DISFANI M & M ARULRAJAH (2011) Recycled crushed glass in road work applications. *Waste Management* 31(11) 2.341-2.351.
- EMAM A & AL-TERSAWY (2011) Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete. *Construction and Building Materials* 35 785-791.
- EMERY A, A DAVIES, A GRIFFITHS & K WILLIAMS (2007) Environmental and economic modeling: a case study of municipal solid waste management scenarios in Wales. *Resources Conservation and Recycling* 49: 244-263.
- FIRAS A & D PAVEL (2005) Recycling of PET Case of Study. *European Polymer Journal* 41: 1453-1477.
- FOTI D & F PAPARELLA (2014) a Impact behavior of structural elements in concrete reinforced with PET grids. *Mechanics Research Communications* 57: 57-66.
- GARCÍA T (2014) Propuesta piloto para reciclaje de papel en la zona universitaria de Xalapa. Tesis, Universidad Veracruzana. México D.F
- GARCÍA I & A CACHO (2014) Mechanical recycling of GFRP waste as short-fiber reinforcements in microconcrete. *Construction and Building Materials* 64: 293-300.
- GOLDBERG S (2014) Optimización del proceso de recuperación de residuos en el Parque de Tecnologías Ambientales de San Juan. Tesis Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Córdoba.
- GOULDER LH, IWH PARRY, RC WILLIAMS & D BURTRAW (1999) The cost-effectiveness of alternative instruments for environmental protection in a second-best setting. *Journal of Public Economics* 69: 329-360.
- GUANO G & J CUNACH (2013) Diseño y Construcción de una Máquina para el Reciclaje de Fibra de Vidrio. Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Quito Ecuador.
- HALL FK (1995) Paper recycling and the environment. In: C Rader, SD Baldwin, DD Cornell, GD Sadler & RF Stockel (eds.) *Plastics, Rubber, and Paper Recycling*: 286-295. ACS Symposium Series. American Chemical Society, Washington, DC.
- HIGHFILL J & M MCASEY (1997) Municipal waste management: Recycling, and landfill space constraints. *Journal of Urban Economics* 41(1): 118-136.
- HUHTALA A (1997) A post-consumer waste management model for determining optimal levels of recycling and landfilling. *Environmental and Resource Economics* 10(3): 301-314.
- INCHE J, A CHUNG, J DEL CARPIO, J YENQUE, L RÁEZ & D MAVILA (2014) Diseño y Desarrollo de un prototipo a partir de Envases reciclados. *Industrial Data* 6(2): 7-11.
- JACOB S (2003) Reformulación del sistema de manejo de residuos identificación de impactos ambientales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 7(1): 41-46.
- KINNAMAN TC (2005) Why do municipalities recycle? *The BE Journal of Economic Analysis & Policy* 5(1) DOI: 10.1515/1538-0653.1294.
- KINNAMAN TC (2006) Policy watch: examining the justification for residential recycling. *Journal of Economic Perspectives* 20(4): 219-232.
- KUO YL & C PERRINGS (2010) Wasting time? Recycling incentives in urban Taiwan and Japan. *Environmental and Resource Economics* 47(3): 423-427.
- LEE G, S POON & YLUNG (2013) Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks. *Construction*

- and Building Materials 38: 638-643.
- LESMES L & N SALAZAR (2014) Plan de negocios para la creación de una empresa productora y comercializadora de artículos ecológicamente sostenibles. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- LLERENA E, U KOO & M CHAPPELL (2011) ¿Tiene sentido educar para reciclar residuos sólidos y no hacerlo? El caso de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Revista de Química PUCP 25(1-2): 38-41.
- MALDONADO L (2006) Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. Ingeniería 10(1): 59-68.
- MARTÍNEZ J (2010) Diseño e instalación una planta de reciclaje de basura (plástico, papel y vidrio) en el relleno sanitario Los Aguacates, ubicada en la ciudad de San Juan de los Morros Venezuela. Trabajo de titulación. Disponible en www.ecobar.net/2010/06/diseño-e-instalación-una-planta-de-reciclaje-de-basura-plástico-papel-y-vidrio. Accesado mayo 2011.
- MANFREDI S, D TONINI & TH CHRISTENSEN (2011) Environmental assessment of different management options for individual waste fractions by means of lifecycle assessment modeling. Resources, Conservation and Recycling 55(11): 995-1004.
- MONTOYA C & P MARTÍNEZ (2013) Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos (empaques) en la Universidad El Bosque. Producción + Limpia 8(1): 80-90.
- MASUI T, T MORITA & J KYOGOKU (2000) Analysis of recycling activities using multi-sectoral economic model with material flow. European Journal of Operational Research 122(2): 405-415.
- MILLER B (2000) Fat of the Land: Garbage in New York. The Last Two Hundred Years. Four Walls Eight Windows, New York, NY.
- MIRANDA R, & A BLANCO (2010) Environmental awareness and paper recycling. Cellulose Chemistry y Technology 44(10) 431-449.
- NAIT L, COLIN & BERGERET (2011) Kinetic analysis and modelling of PET macromolecular changes during its mechanical recycling by extrusion. Polymer 96: 236-246..
- NAJAR LE, M MOLINA MG & SB PRÓSPERI (1998) Desarrollo de tecnología para el tratamiento residuos domésticos. En: Gestión ambiental en el siglo XXI: 1-14. APIS.
- NASSAR R & S PARVIZ (2012) Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement. Construction and Building Materials 29: 368-377.
- NEVES FL (1999) Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. O Papel 61(2): 38-41.
- POVEDA G & A PAVÓN (2010) Impacto del proyecto de reciclaje en la ciudad de Bogotá. Tecnura. 13(25): 159-166.
- POWELL JC (1996) The evaluation of waste management options. Waste Management and Research 14: 515-526.
- RAMÍREZ F (2013) Estructura modular para división de espacios interiores a partir de vidrio reciclado. Proyecto de Grado, Universidad Católica de Pereira.
- RAMOS EF (2014) Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa productora de bolsas de papel para regalo a base de papel reciclado y su comercialización en el cantón marcabelí, provincia de el oro. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- READ AD (1999) Making waste work: making UK national solid waste strategy work at the local scale. Recursos, Conservación y Reciclaje 26(3-4): 259-285.
- ROMERO M (2013) Caracterización del nuevo esquema “basura cero” transporte de reciclaje en la ciudad de Bogotá. Repositorio institucional Universidad Militar Nueva Granada. 15 pp.
- RUTKOWSKI P (2013) Characteristics of bio-oil obtained by catalytic pyrolysis of beverage carton packaging waste. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 104: 609-617.
- SAIKIA N & J BRITO J (2014) Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. Construction and Building Materials 52: 236-244.
- SIDDIQUI M, REDHWIB A & D ACHILIAS (2012) Recycling of poly (ethylene terephthalate) waste through methanolic pyrolysis in a

- microwave reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 98: 214-220.
- SILVA R, J BRITO & S NABAJYOTI (2013) Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement and Concrete Composites* 35(1): 23-31.
- SUAREZ A (2013) Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento del plástico en el relleno sanitario de Quinchía, Risaralda. Tesis de grado. Tecnológica de Pereira, Colombia.
- SULBARÁN B, E TURRADO & R ORLANDO (2014) Destintado en medio neutro de papel reciclado aplicando mezclas de enzimas celulasa y α -amilasas. *European Scientific Journal* 10(12): 99-55.
- TANSKANEN JH & J KAILA J (2001) Comparison of methods used in the collection of source-separated household waste. *Waste Management y Research* 19(6): 486-497.
- TERRO M (2012) Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures. *Building and Environment* 41(5): 633-639.
- FERRARIS M, M SALVO M, A VENTRELLA, L BUZZI L & M VEGLIA (2009) Use of vitrified MSWI bottom ashes for concrete production. *Waste Management* 29(3): 1.041-1.047.
- VISSER JHM (2014) Influence of the carbon dioxide concentration on the resistance to carbonation of concrete. *Construction and Building Materials* 67: 8-13.
- YOSHIDA H, J GABLE & JK PARK (2012) Evaluation of organic waste diversion alternatives for greenhouse gas reduction. *Resources Conservation and Recycling* 60: 1-9.
- ZHAN B, CS POON, Q LIU, S KOU & C SHI (2014) Experimental study on CO₂ curing for enhancement of recycled aggregate properties. *Construction and Building Materials* 67: 3-7.
- ZHAN L, T TONG T, S LIU, D YANG & Q YU (2014) Investigation of using hybrid recycled powder from demolished concrete solids and clay bricks as a pozzolanic supplement for cement. *Construction and Building Materials* 73: 754-763.