

Análisis de la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos en Colombia: revisión de la literatura¹

Arcadio Cervera Muñoz²

Resumen

La presente investigación muestra el análisis realizado a partir de una revisión bibliográfica de los trabajos referidos a la gestión de los procesos que se efectúan para el aprovechamiento de los residuos plásticos en Colombia, de tal forma que se conozcan los parámetros que están interrelacionados con la ejecución de estos procesos. Puntualmente, y a partir de dicha revisión, se forman los objetos de medición de los trabajos y se presenta el cómo se están abordando los procesos de

aprovechamiento en este tipo de residuos. Al concluir, se tiene que el aprovechamiento que se realiza de los residuos plásticos en Colombia no es el adecuado pues se presentan reprocesamientos de residuos de materiales ineficientes, por consiguiente, es importante la adopción de modelos de producción más sostenibles y planes de gestión integral, para tratar de forma adecuada los residuos plásticos.

Palabras clave: plásticos, reciclaje, procesos, competitividad.

1 Artículo de revisión resultado del proyecto de investigación titulado: *Mejoramiento de la gestión de procesos de calidad en las empresas dedicadas al aprovechamiento de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá*, financiado por la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

2 Doctor en Administración de la Universidad de Celaya, México, magíster en Ingeniería industrial de la Universidad de los Andes, ingeniero industrial de la Universidad de América. Profesor de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: arcervera@unisalle.edu.co, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5810-537X>.

Autor para Correspondencia: arcervera@unisalle.edu.co

Recibido: 11/09/2023 Aceptado: 10/07/2024

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Analysis of the management of processes for the use of plastic waste in Colombia: Literature review

Abstract

This research shows the analysis carried out based on a bibliographic review of the works carried out with reference to the management of the processes carried out for the use of plastic waste in Colombia, to know the parameters that are interrelated with the execution of these processes.

Specifically, and based on said review, the measurement objects of the work are formed and how the utilization processes of this type of waste are being addressed is presented. In conclusion, it is concluded that the use made of plastic waste in Colombia is not adequate, presenting waste reprocessing of inefficient materials; Consequently, it is important to adopt more sustainable production models and comprehensive management plans to adequately treat plastic waste.

Keywords: Plastics, Recycling, Processes, Competitiveness.

Análise da gestão dos processos de utilização de resíduos plásticos na Colômbia: Revisão da literatura

Resumo

Esta pesquisa mostra a análise realizada a partir de uma revisão bibliográfica dos trabalhos realizados com referência à gestão dos processos realizados para a utilização de resíduos plásticos na Colômbia, para conhecer os parâmetros que estão inter-relacionados com a execução desses processos. Especificamente, e com base na referida revisão, são apresentados os objetos

de medição do trabalho e como estão sendo abordados os processos de aproveitamento desse tipo de resíduo. Concluindo, conclui-se que o aproveitamento dos resíduos plásticos na Colômbia não é adequado, apresentando reprocessamento de resíduos de materiais ineficientes; Consequentemente, é importante adotar modelos de produção mais sustentáveis e planos de gestão abrangentes para tratar adequadamente os resíduos plásticos.

Palavras-chave: plásticos, reciclagem, processos, competitividade.

Introducción

Actualmente, las cantidades de residuos plásticos que se generan a nivel mundial (se estiman entre 8 y 11 millones de toneladas anualmente) van en aumento y muchos van a parar a los sistemas de agua (mares, ríos, lagos, etc.) en donde no existe una solución ideal y definitiva para reducir al mínimo posible estos desperdicios, ni tampoco se toman acciones para poner un límite y un control efectivo a la contaminación ocasionada por estos residuos (William y Rangel, 2022). Por lo anterior, la adopción de técnicas relacionadas con el aprovechamiento de residuos plásticos (las más utilizadas son la reutilización y el reciclaje) se pueden considerar como solución, si se hace una recuperación eficiente prolongando el ciclo de vida de los materiales que se van a reutilizar (Bocken *et al.*, 2016). En consecuencia, al utilizar adecuadamente estas metodologías se consigue un uso eficiente de residuos plásticos, y por consiguiente se esperaría que disminuyan los riesgos ocasionados por estos.

Al respecto, Negrete *et al.*, (2022) afirman que la utilización adecuada de técnicas de optimización de residuos y la creación de tecnologías pueden ayudar a la gestión integral de residuos, disminuyendo su llegada a los sitios de disposición final (vertederos, rellenos sanitarios, etc.) a fin de evitar consecuencias desfavorables para las personas y los ecosistemas. Por consiguiente, es recomendable transitar hacia sistemas productivos sostenibles (con participación de los gobiernos) en

los que se puedan recuperar mejor los residuos, con una gestión que implique mejores infraestructuras con dotación de maquinaria y equipos tecnológicos (Samarasinghe *et al.*, (2021).

Ahora, los procesos que se emplean para el tratamiento adecuado de residuos plásticos dentro de las técnicas de aprovechamiento no deben seguir un comportamiento directo (representado por producir, gastar y eliminar), sino al contrario, deben tener un comportamiento circular en el que exista un impacto ambiental y socioeconómico entre todos los actores (Rodríguez *et al.*, 2022). Es por ello, que para lograr estos cambios en los procesos se necesita una gestión eficiente de sus recursos, acompañada de mecanismos para reincorporar los materiales aprovechables de este tipo de residuo al ciclo productivo, ya sea para convertirlos en nuevos productos de valor agregado o para evitar la utilización de insumos (Aguilar *et al.*, 2023).

Al respecto, Campoverde *et al.* (2022) establecen que es importante para los procesos que se siguen en el tratamiento de residuos plásticos que las empresas manejan eficientemente sus recursos (es decir que sean productivas) ya que son un eslabón básico en toda la cadena de valor que influyen en la recuperación de este residuo. En efecto, hay un gran potencial de materiales plásticos reciclados y materiales derivados que presentan una alternativa muy importante para avanzar hacia un modelo de producción y consumo sostenible, que implique alargar mucho más la vida de los productos (Morales *et al.*, 2023). Existen tecnologías que permiten

mantener la sostenibilidad de los recursos sin utilizarlos desproporcionalmente, trayendo consigo competitividad futura hacia las empresas y siendo amigables con el medio ambiente (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [Minciencias], 2020); tal es el caso de la esterilización por vapor y las plantas de incineración con autoclave que evitan los efectos de cambio climático Antoniadou *et al.* (2021).

Por otro lado, el aprovechamiento de residuos plásticos en Colombia no se realiza en la proporción que se esperaría, si se tiene en cuenta que apenas el 17 % del total de residuos sólidos relacionados con este tipo de material se reciclan, ello conlleva efectos negativos como el impacto negativo al medio ambiente, la contaminación de cuencas hídricas importantes y afectaciones a muchas especies y ecosistemas, incluyendo al ser humano (Greenpeace Colombia, 2022). Por tal razón, es necesario que países como Colombia se encaminen a una eficiente gestión de los residuos, para lograr un cambio innovador en la cadena de reciclaje (Carrasco y Tonon, 2023).

Por consiguiente, la presente investigación se enfoca en la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos para abordar la problemática relacionada con la utilización eficiente de este tipo de residuo, con el fin de identificar y analizar los principales elementos que se requieren dentro de los procesos para el tratamiento adecuado de materiales reutilizables (residuos). En sí, lo que se pretende es aportar al planteamiento y desarrollo de elementos necesarios para entender estos procesos, con el objetivo de que los diferentes

entes (empresas, gobierno, sectores, etc.) conozcan las oportunidades que les brinda el mercado. Puntualmente, mediante este trabajo se explora qué se está haciendo en torno a los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos en Colombia, para lo cual se analizaron investigaciones publicadas entre 2015 y 2023.

Esta revisión está organizada en las siguientes partes: en la primera, se aborda un panorama general del tema mediante la introducción, al igual se establece el objetivo y alcance de la investigación, luego se presenta la manera como se realizó este trabajo mediante la metodología empleada, a continuación, se muestran los resultados de la revisión y, por último, se exponen las conclusiones.

Objetivo del estudio

El fin de la presente investigación es mostrar el análisis realizado a partir de una revisión bibliográfica de los trabajos elaborados con referencia a la gestión de los procesos que se efectúan para el aprovechamiento de los residuos plásticos en Colombia. Puntualmente, y a partir de dicha revisión, se forman los objetos de medición de los trabajos y se presenta el cómo se está abordando los procesos de aprovechamiento en cuanto a este tipo de residuos.

Metodología

Con el propósito de comprender el conocimiento y las investigaciones existentes relacionadas con el aprovechamiento de residuos plásticos,

se realizó un análisis descriptivo de la literatura para identificar el conocimiento existente en la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos. De esta manera, se hallaron documentos que permitieron encontrar elementos en común para entender esta temática en particular y poder enfocarlos en objetos de medición que representan las características de un trabajo (Pineda *et al.* (2017).

En este sentido, las tres fases que se desarrollaron para realizar el análisis con base en la revisión bibliográfica fueron las que se explican a continuación.

La primera fase consistió en escoger los criterios que se deben tener en cuenta para seleccionar las investigaciones que trabajan esta temática. Los criterios que se tuvieron en cuenta para la búsqueda de los documentos fueron: investigación que aborde los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos; estudio realizado en el sector de residuos plásticos en Colombia y trabajos elaborados por organismos nacionales e internacionales, tales como instituciones del gobierno, universidades, ONG, entre otros. En esta misma fase, para seleccionar los posibles documentos que se tuvieron en cuenta en la revisión de acuerdo a los criterios descritos anteriormente,

se manejó en los sistemas informáticos de exploración de información de los documentos de investigación, el conector lógico “Y” entre un grupo de palabras claves relacionadas con la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos (“residuos plásticos”, “procesos” y “aprovechamiento”) y otro con respecto a la gestión de los procesos de residuos sólidos (“reciclaje”, “reutilización” y “métodos de aprovechamiento”).

La segunda fase consistió en ubicar los documentos mediante las fuentes de datos especializadas en la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos, particularmente los plásticos, así como a través de entidades nacionales e internacionales (como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, agencias de cooperación. Etc.).

La tercera fase, se culminó con el procesamiento de datos, el análisis y unificación de resultados. Para esto, se trabajó una matriz en Excel, como se muestra en la **tabla 1**, con dos grupos de información: uno que hace referencia a los elementos básicos del documento y el otro relacionado con las especificidades del tema.

Tabla 1.

Matriz artículo de revisión

Referencia del documento		Quien hizo el documento	
Nombre del documento	Palabras claves	Tipo de documento	Año de publicación
			Lugar de publicación
			Abstract
			Tipo de institución
			Universidad
			Entidad
			Empresa
Gestión de procesos de aprovechamiento de residuos plásticos			
Fuentes de generación de residuos	Principal dificultad para recuperación de residuos plásticos	Medio para realizar los procesos de pretransformación	Principales problemas de la cadena logística del reciclaje del plástico
			Objeto de estudio
			Proceso empresarial
			Objeto de medición

Nota. Elaboración del autor.

Del trabajo descrito en las fases anteriores se encontró que quince investigaciones cumplían con los criterios mencionados, para su correspondiente revisión y análisis.

Exploración de las investigaciones

La exploración de los trabajos relacionados con los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos plásticos en Colombia se operativizó en una hoja de cálculo (como se describió anteriormente en la fase tres de la metodología), donde se registraron los datos en dos grandes grupos: por un lado, está el que corresponde a los elementos propios de los documentos, como son: resumen, palabras clave, universidad o entidad que

divulga la investigación, título, autores, entre otros y por otro lado, está la documentación asociada a las particularidades de la temática objeto de esta investigación (fuentes de generación de residuos, principal dificultad para recuperación de residuos plásticos, medio para realizar los procesos de pretransformación, principales problemas de la cadena logística del reciclaje del plástico, Tipo de proceso, objeto de estudio, métodos de trabajo y objeto de medición).

Características generales de los documentos

En esta sección se describen las características generales de los documentos,

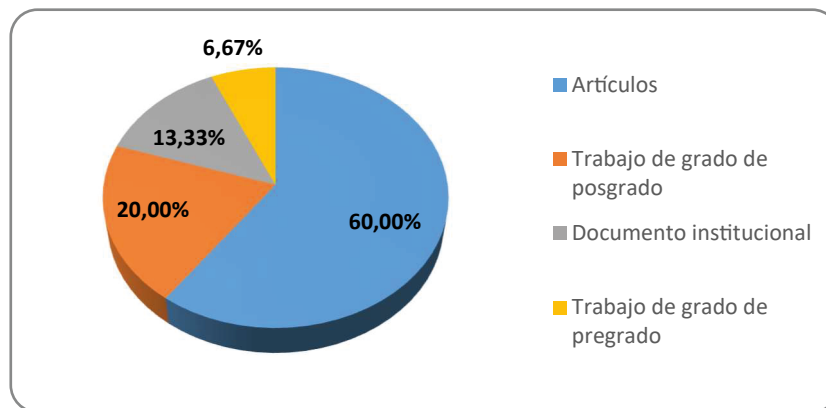
teniendo en cuenta los datos registrados que corresponden a la información básica de los trabajos, como se mencionaba en el ítem anterior de exploración de las investigaciones (primer grupo de datos), para luego realizar el análisis de los objetos de medición resultantes de la revisión bibliográfica, que se tiene planteado como objetivo de estudio de esta investigación.

Los artículos representan el documento más característico donde se dan a conocer las investigaciones en este tema con un

60 % del total de los trabajos revisados, posteriormente están los trabajos de grado en posgrado con un 20 % (**figura 1**). Por consiguiente, se puede deducir que las investigaciones desarrolladas respecto a la utilización adecuada de los residuos plásticos, en una gran proporción, se realizan en instituciones universitarias, y que es un tema que, aunque en Colombia no es muy abordado en las empresas y en universidades, en otras partes del mundo tiene una gran connotación.

Figura 1.

Distribución por tipo de documento revisado



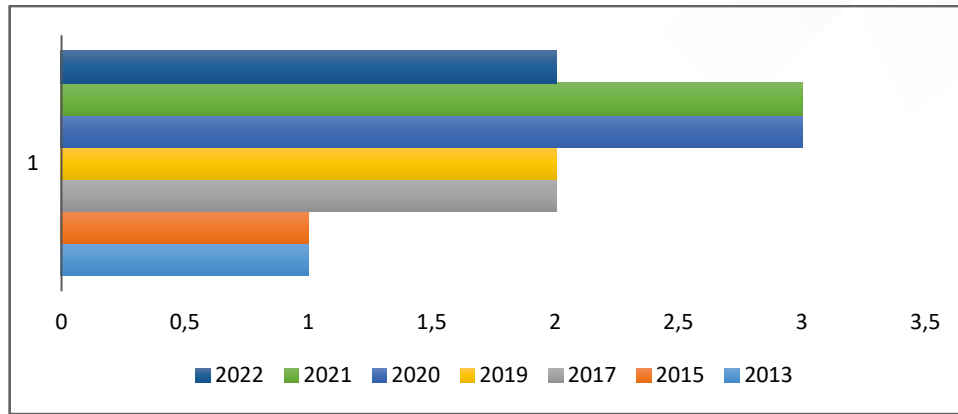
Nota. Elaboración del autor.

Ahora, se encontraron investigaciones relacionadas con la gestión de este tipo de residuo sólido desde el año 2013, con un incremento significativo en los años

2020 y 2021 (**figura 2**), esto demuestra la importancia en los últimos tiempos de la reutilización y aprovechamiento de residuos plásticos.

Figura 2.

Tendencia de publicaciones



Nota. Elaboración del autor.

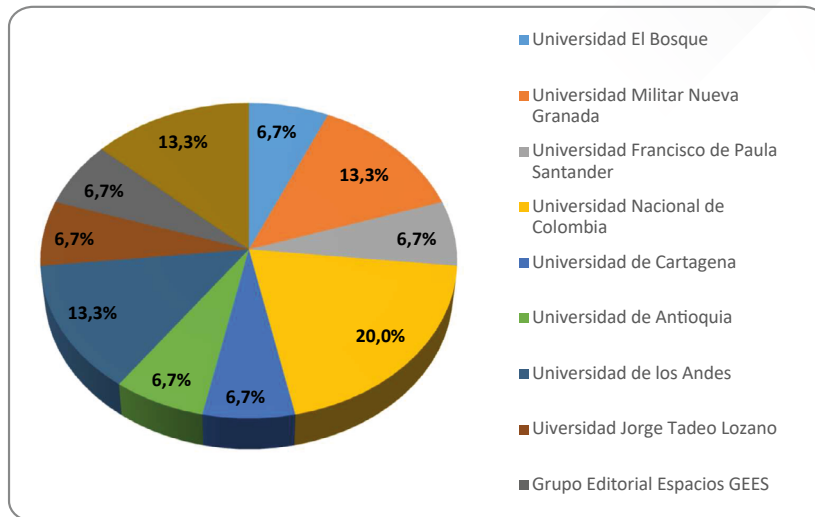
Siguiendo con las instituciones universitarias donde más se realizan investigaciones sobre la manera como se abordan los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos en Colombia (**figura 3**) estas son: Universidad Nacional de Colombia (20 %), Universidad Militar Nueva Granada (13,3 %) y la Universidad de los Andes (13,3 %).

Hallazgos en la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos en Colombia

Antes de empezar con el análisis de los objetos de medición que resultaron de la revisión bibliográfica, es preciso contextualizar las características generales de la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos, para tal fin, se describe en el apartado siguiente cuáles son los diferentes métodos y procesos que se utilizan para estas actividades actualmente, así como, los principales problemas en sus operaciones.

Figura 3.

Distribución de documentos por universidad



Nota. Elaboración del autor.

Caracterización de la gestión de los procesos de recuperación de residuos sólidos plásticos

La gestión de los procesos de recuperación de este tipo de residuos de una manera amplia consiste en el desarrollo de actividades relacionadas con la generación, recuperación, almacenamiento, pretransformación y transformación de residuos sólidos plásticos, con el propósito de introducirlos nuevamente a la cadena del valor del plástico y darles una mayor vida útil a estos residuos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021). En este sentido, la actividad de generación se relaciona con la procedencia de los residuos plásticos, que puede ser de las acciones de consumo, industriales y posindustriales. Posteriormente se realiza una recuperación de residuos, ya sea en el sitio donde se encuentran los recicladores de oficio o en los centros de acopio

(involucra transporte), donde se lleva a cabo una separación inicial de materiales que pueden contaminar a los residuos; luego, una vez en los centros de clasificación y aprovechamiento o en los centros de acopio, hay necesidad de realizar nuevamente un proceso de separación, para clasificar, pesar, empacar y enviar a los centros de bodegaje; por último, cuando la cantidad de material es suficiente para la comercialización, se vende a las transformadoras, quienes orientan inicialmente sus actividades a la limpieza o purificación del material para luego, mediante procesos de molido, aglutinado o paletizado, los reempacan y comercializan como materia prima para la industria (Mendoza *et al.*, 2020). Por consiguiente, este tipo de residuo se puede reincorporar al ciclo productivo, para generar productos de valor agregado o para evitar la utilización de insumos.

Procesos de recuperación de residuos sólidos plásticos

En Colombia se generan anualmente 700.500 toneladas de residuos sólidos plásticos de los tipos: pet, pasta, plástico blanco, soplado y otros materiales (pvc, polipropileno, entre otros) (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios], 2019). En el mismo sentido, se evidencia que el aprovechamiento de la familia de los plásticos es del 15 % con respecto al total de materiales por familias, los materiales más aprovechados de la familia de los plásticos son: el pet con un 34 %, otros plásticos con 23 % y la pasta con el 11 %.

Actualmente, las actividades que se siguen en los procesos para el manejo de los residuos sólidos en Colombia tienen las siguientes características: los residuos generados a través de consumo o por medio de las industrias son transportados a los centros de acopio mediante diferentes medios como vehículo motorizado, camionetas, carretillas, sacos, etc. para su separación inicial, aquí se les extraen los elementos contaminantes o residuos orgánicos que impiden su reutilización o transformación (Cámara de Comercio de Bogotá, 2020).

Estando los residuos en los centros de acopio o estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA), se les realizan actividades que generan un valor agregado, como es el caso de la clasificación, pesaje y empaque con el objeto de garantizar unas cantidades que se puedan comercializar y transformar (Palomino y Huisa, 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, se sigue con las actividades de triturado, lavado, extrusión y paletización del material, para volverlo a empacar y venderlo como materias primas secundarias (Jaligot *et al.*, 2016).

En términos generales, estos procesos que se realizan para el aprovechamiento de residuos plásticos dependen en gran medida de los niveles de limpieza y contaminación del material, los métodos la mayoría de las veces son empíricos y lentos, limitando su venta. A su vez, la demanda de estos materiales resulta ser temporal, por lo que deben ser almacenados durante un tiempo mientras resultan compradores o habría que venderlos a precios no tan competitivos (Arandes *et al.*, 2004).

Por otro lado, se pretende, a través de metodologías o tecnologías complementarias que buscan un valor agregado a los productos reciclados ampliando su ciclo de vida, disminuir la presión o dependencia sobre los sitios de disposición final. En el mismo sentido, se espera que a través de la capacitación y de los conocimientos impartidos al público sobre técnicas de reutilización y reciclaje se logre una conciencia sobre este tema (Superservicios, 2021). Al mismo tiempo, es necesario evaluar técnicas de producción sostenible, para el tratamiento óptimo de los residuos plásticos (Scheinberg y Michael, 2015).

Eficiencia en la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos.

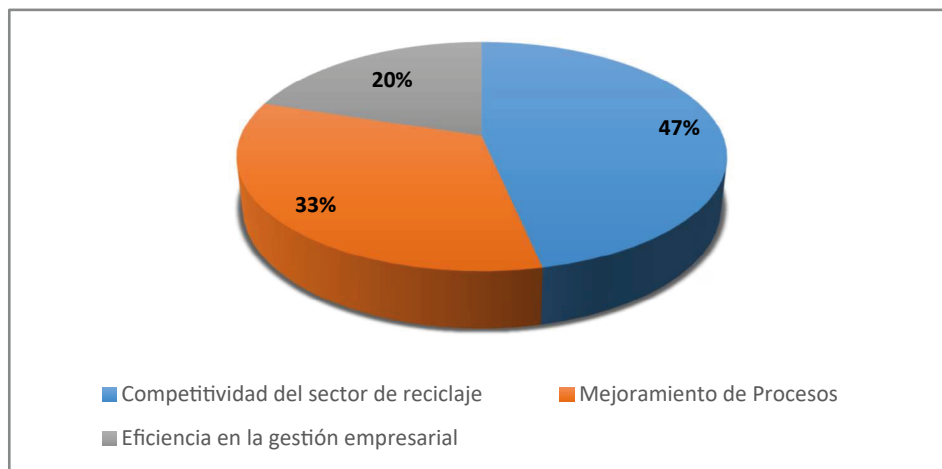
En este apartado se presenta una descripción inicial de los objetos de medición (teniendo en cuenta algunos datos de los grupos descritos en el ítem de las exploración de las investigaciones) que se obtuvieron de la revisión bibliográfica para luego, en la sección descrita más adelante y denominada *elementos contemplados en los estudios* describir el análisis de la relación de los elementos que afectan la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos en Colombia con los objetos de medición identificados.

Los objetos de medición que resultaron del análisis realizado a los trabajos de

investigación en la revisión son los siguientes: competitividad del sector de reciclaje, mejoramiento de procesos y eficiencia en la gestión empresarial (**figura 4**), siendo el objeto de medición de competitividad del sector de reciclaje (siete trabajos) el más estudiado.

Al relacionar los objetos de medición con la principal dificultad que experimentan los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos plásticos se encuentra que la inspección a los productos a reciclar (**figura 5**) es el principal problema asociado con el mejoramiento de procesos (27 %), y la protección e higiene para el reciclador esta relacionado con la eficiencia en la gestión empresarial (20 %).

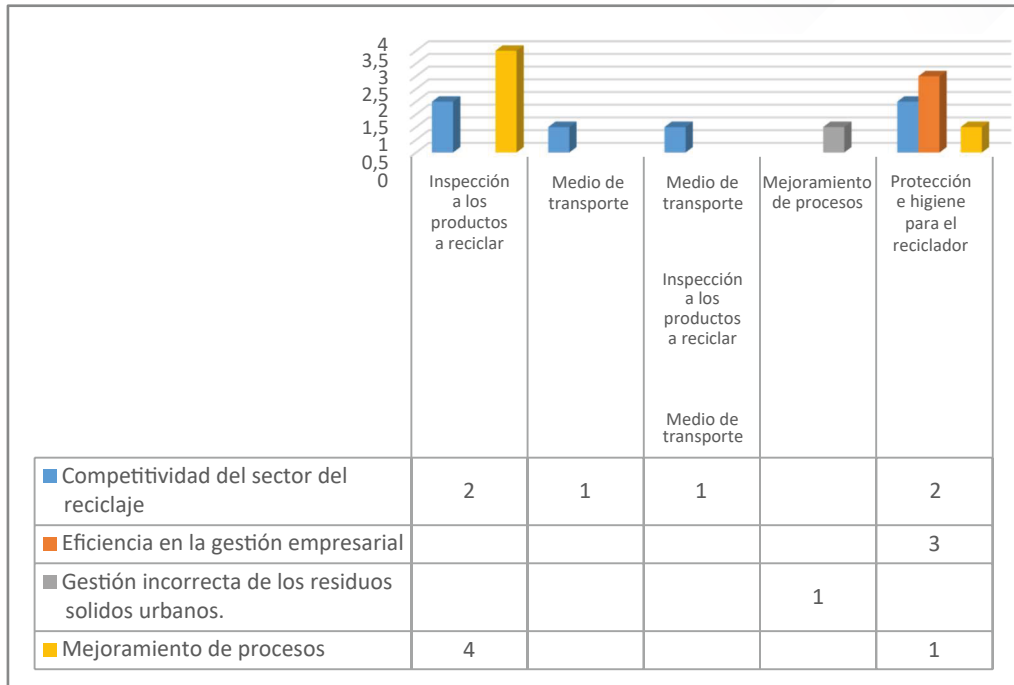
Figura 4.
Frecuencia de los objetivos de medición de eficiencia



Nota. Elaboración del autor.

Figura 5.

Frecuencia de los objetos de medición de eficiencia y teniendo en cuenta la principal dificultad para recuperación de residuos plásticos



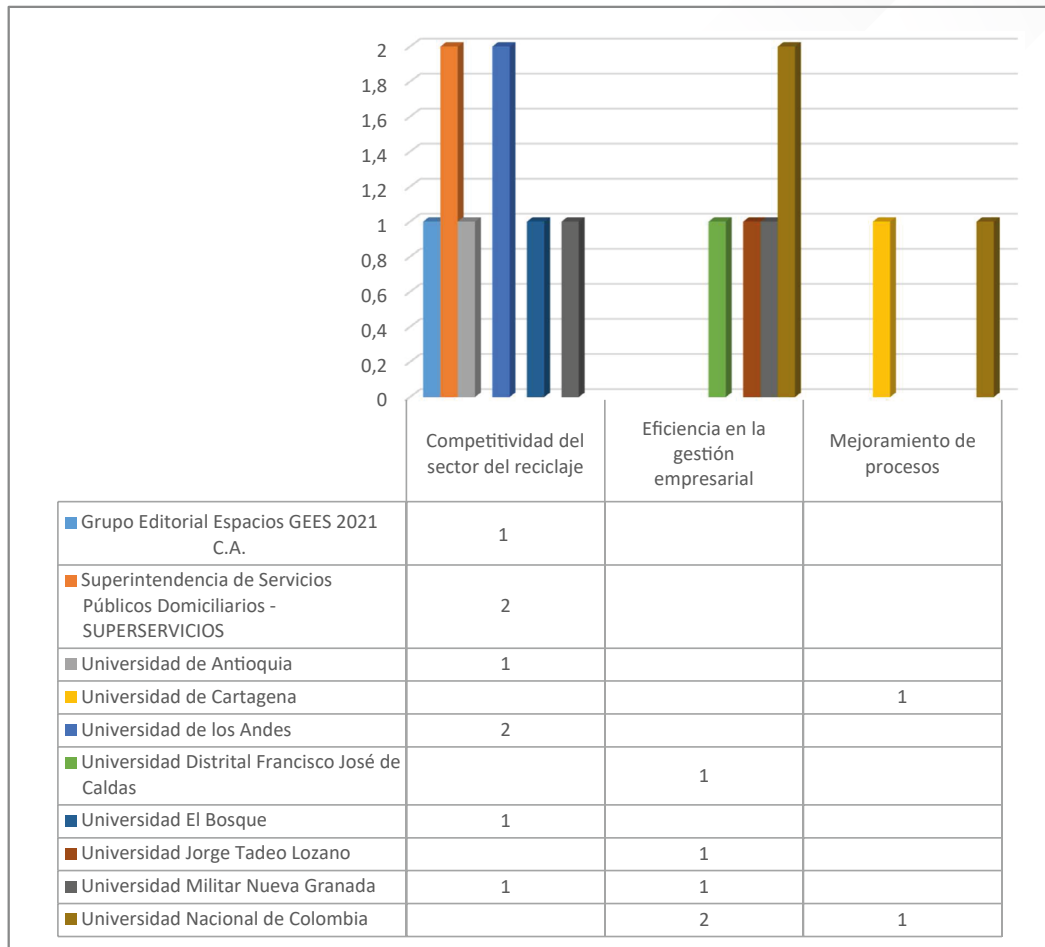
Nota. Elaboración del autor.

En el mismo sentido, al tener en cuenta los objetos de medición de las entidades que elaboraron los documentos (educativas o gubernamentales) se puede interpretar que son diversos, como es el caso de la Superservicios y la Universidad de los

Andes que enfocaron sus estudios hacia la competitividad del sector del reciclaje, y que la Universidad Nacional de Colombia se orienta hacia el mejoramiento de los procesos y la eficiencia en la gestión empresarial (**figura 6**).

Figura 6.

Frecuencia de los objetivos de medición de eficiencia y teniendo en cuenta la entidad



Nota. Elaboración del autor.

Elementos contemplados en los estudios

En esta sección se contemplaron los elementos más importantes que afectan la gestión de los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos plásticos en Colombia, lo que requiere relacionar dichos elementos a través de los objetos de medición para fortalecer los procesos, y mejorar su condiciones de rentabilidad para pecibir mejores beneficios (Valenzuela *et al.*, 2019). Es

por ello, y teniendo en cuenta los tres objetos de medición identificados, que a continuación se presenta el análisis para establecer nexos o discrepancias por objetivo.

Competitividad en el sector del reciclaje

En este primer objeto de medición denominado *competitividad en el sector del reciclaje*, se observa que el 47 % de los estudios se enfocan hacia su cumplimiento, y evalúan modelos que permiten reutilizar los residuos sólidos todas las veces que sea

viable para generar un valor agregado, y de esta manera fomentar la competitividad entre los diferentes actores que están involucrados en la cadena del reciclaje del plástico (Colorado *et al.*, 2020). Por lo que los diferentes eslabones presentes en este sector deberían enfocarse en mejorar las operaciones de aprovechamiento, ya que esto va a incidir de una manera importante en la recuperación eficiente de los residuos y, en consecuencia, como lo aseguran diversos estudios (Qi *et al.*, 2016; Loaiza y Colorado, 2018; Loaiza *et al.*, como se citaron en Colorado y Echeverri, 2020), la buena reutilización que se les dé puede traer oportunidades de negocio que disminuyan los residuos, trayendo con esto iniciativas empresariales en torno a la fabricación de materiales ecológicos y con baja huella de carbono, y por consiguiente se reduciría también la disposición en vertederos y rellenos sanitarios.

Se analizaron siete estudios, cuatro de ellos se enfocan en el impacto que generan algunos residuos plásticos en el medio ambiente y en los ecosistemas, y cómo a través de la innovación de productos ecológicos se puede generar rentabilidad y, por consiguiente, se mejora la competitividad de los mismos. En uno, el objetivo es evaluar la eficiencia económica y ambiental de un producto ecológico, y su incidencia en la

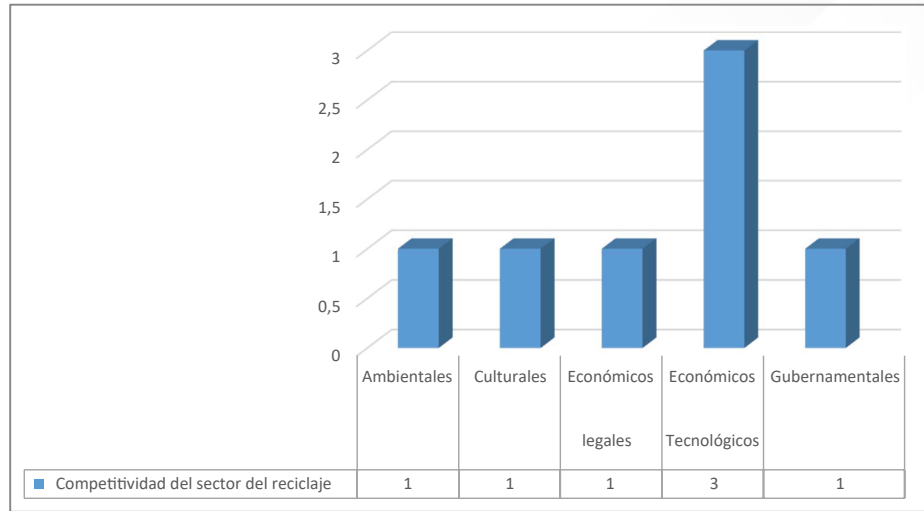
producción del sector comercial (Arévalo y Caviedes, 2021), en el otro, se analizan los efectos ecológicos y socioeconómicos, así como los riesgos para las personas, generados por la contaminación de residuos plásticos en ecosistemas (Garcés *et al.*, 2019).

Los otros estudios se enfocaron en analizar desde el punto de vista ambiental y gubernamental las consecuencias derivadas del manejo de ciclo de vida de los materiales plásticos, por cuanto no existen actualmente estrategias de sostenibilidad que garanticen el tratamiento adecuado de los residuos (Greenpeace Colombia, 2019).

Frente a los factores que afectan la competitividad del sector de reciclaje, los estudios consideran que los elementos económicos y tecnológicos influyen sobre las actividades de aprovechamiento de este tipo de residuo (**figura 7**) por la falta de procesos sustentables que conlleva a que economías no sostenibles como la nuestra estén perdiendo puntos porcentuales del producto interno bruto por el cambio climático (Chicas y Arias, 2022). Lo anterior refleja la importancia de la adopción de metodologías y técnicas que aumenten la competitividad, de manera que se disminuyan los costos y al tiempo se reduzca el impacto medioambiental en cada uno de sus procesos (Díaz *et al.*, 2020, como se cita en Chicas y Arias, 2022).

Figura 7.

Factores que afectan la competitividad del sector de reciclaje



Nota. Elaboración del autor.

Mejoramiento de procesos

El mejoramiento de procesos es el segundo objeto de medición más estudiado en las investigaciones, a través del desarrollo de actividades y operaciones características en la cadena del reciclaje del plástico, las cuales toman una importancia estratégica en la sostenibilidad de los diferentes eslabones que la componen, con el objeto de optimizar su aprovechamiento o para garantizar un uso sostenible de los productos o materiales usados (De la Hoz, 2017).

Al respecto, los procesos característicos en la industria del reciclaje del plástico utilizan en su gran mayoría maquinaria y tecnología convencional para su acondicionamiento, transformación y prensado, como es el caso de las prensas hidráulicas de reciclaje vertical y horizontal, compactadoras, briquetadoras, trituradoras; y en cuanto a transporte los

montacargas, para todo ello se requieren recursos y materias primas (por ejemplo, energía eléctrica, agua y GLP), que al ser utilizados en grandes cantidades como pasa en estos procesos, traen consigo un impacto negativo sobre el medio ambiente (Aristizábal *et al.*, 2020). En tal sentido, sería importante la adopción de tecnologías limpias, buenas prácticas y sistemas integrados de gestión, que permitan tener procesos productivos más eficientes, con el objeto de hacer un uso adecuado de los recursos y por lo tanto garantizar una gestión sostenible (Jiménez *et al.*, 2019).

Específicamente, Mwanza y Mbohwa (2017) indican que la aplicación del reciclaje de residuos plásticos debería ser una actividad sostenible en la fabricación, ya que los nuevos productos se deben producir sin utilizar nuevos materiales, donde se utilicen procesos de recuperación de energía en

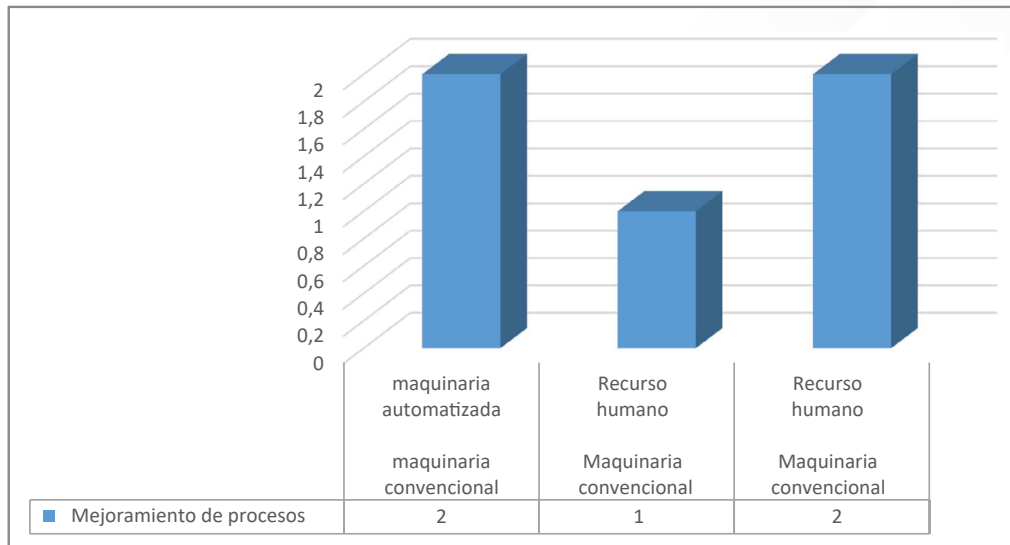
infraestructuras de producción y conversión de plástico, de manera que se desarrolle una gestión sostenible del material. Asimismo, Coelho y Gobbo (2011) afirman que los sistemas de reciclaje de plásticos se deberían evaluar teniendo en cuenta los impactos que estos provocan sobre los recursos hídricos, la salud pública y las emisiones, de manera que los procesos que utilicen menos recursos y materiales son los que responden a unas estrategias ambientalmente efectivas.

Lo anterior resalta la relevancia que hoy se le debe dar al manejo adecuado de los residuos sólidos, especialmente desde las organizaciones, involucrando metodologías y prácticas que contribuyan de manera adecuada a su aprovechamiento. Por lo tanto, como lo establecen Yu y Solvang (2016), las empresas deben gestionar procesos y actividades de manera efectiva y económicamente eficiente, para optimizar la utilización de recursos con el fin de lograr un desarrollo sostenible y ser responsables frente a la recuperación de residuos sólidos.

Ahora, de acuerdo a la revisión realizada, se tiene que el 33 % de las investigaciones trabajaron como objetivo el mejoramiento de los procesos, donde los métodos que utilizan los diferentes eslabones de la cadena del reciclaje para realizar las operaciones de tratamiento de residuos sólidos plásticos están relacionados con el tipo de maquinaria que operan y el recurso humano involucrado (**figura 8**), y autores como Cruz y Zaldúa (2020), afirman que las máquinas utilizadas actualmente para las operaciones que se realizan en el tratamiento de residuos sólidos consumen mucha energía, además de la gran cantidad de emisiones generadas por el combustible empleado, así mismo, para evitar el impacto ambiental generado por el reciclaje de plásticos, es preciso abordar procesos que hagan un tratamiento adecuado de los residuos (aunque en algunos se consume bastante energía), con el fin de aumentar el ciclo de vida de estos materiales (Arthuz y Pérez 2019).

Figura 8.

Tipo de medios utilizados para mejoramiento de procesos



Nota. Elaboración del autor.

Eficiencia en la gestión empresarial

La importancia en las diferentes operaciones y actividades que se realizan para el aprovechamiento adecuado de residuos plásticos se consideró como objetivo en el 20 % de las investigaciones, y se enfocaron principalmente en el manejo y tratamiento que se debe tener de los materiales, donde el factor humano juega un papel importante (**figura 9**). La razón de esto es que la capacitación de personal en manejo de residuos sólidos en toda la cadena del reciclaje del plástico es un aspecto relevante para abordar el bajo reprocesamiento de residuos materiales, así como la percepción de los métodos y la calidad de los materiales recuperados son barreras dentro de la gestión y manejo de este tipo de residuos (Peña *et al.*, 2015). En tal sentido, aunque en nuestro medio

regional, incluyendo Colombia, no está expandido el desarrollo del mejoramiento adecuado de residuos sólidos, se mencionan dentro de las políticas gubernamentales algunos principios y objetivos para el uso adecuado de residuos sólidos, tales como: tasas de reciclaje, reutilización, uso de residuos sólidos, estímulos a la producción sostenible, desarrollo y mejora de tecnologías limpias, incentivo a la industria del reciclaje, capacitación técnica de residuos sólidos, entre otras (Guarnieri *et al.*, 2020). Igualmente, dentro del buen manejo y tratamiento que se le dé a los residuos sólidos, es necesario destinar recursos en tecnología y capital humano que incidan directamente en el ahorro de materiales, energías y recursos naturales, a través de programas de innovación y desarrollo (Rincón *et al.*, 2021).

Ahora bien, en cuanto al uso de modelos que impliquen un consumo más sostenible a lo largo del tiempo, donde se aumente la tasa de reciclaje y la utilización de residuos sólidos todas las veces que se requiera, el gobierno ha establecido a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible la *Estrategia nacional de economía circular*; en la cual establece entre otras directrices: “la conservación y optimización de los recursos naturales, el fortalecimiento del capital humano, el cierre de los ciclos de materiales, agua y energía, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles”, con el fin de hacer un uso eficiente de los materiales, y de esta manera procurar reducir los efectos de la huella de carbono (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2019). Y es precisamente sobre los efectos que establece la aplicación de estos modelos que algunos autores han expuesto sus bondades y críticas sobre el hecho si contribuyen a un desarrollo sostenible, tal es el caso de la economía circular aplicada a los residuos plásticos, donde resulta muy importante su uso, ya que trae beneficios desde el punto de vista ambiental a través de las diferentes opciones de tratamiento de este tipo de residuo (Huysman *et al.* 2017).

En el mismo sentido, autores como Corona *et al.* (2019) argumentan que, aunque el objetivo en una gran mayoría de este tipo de estrategias es lograr la utilización óptima de materiales y productos aumentando la circularidad material de un sistema, se quedan cortas frente a la sostenibilidad de otros elementos como lo son: el medio ambiente, la economía y la sociedad.

Por otro lado, frente al aprovechamiento y tratamiento adecuado de este tipo de residuos generados por medio del consumo o a nivel industrial, para alcanzar un reciclaje sostenible en países como el nuestro, es preciso –como lo mencionan Reyes *et al.* (2022)– tener en cuenta entre otros métodos para el tratamiento de residuos plásticos: la limpieza o desinfección de los materiales, la reducción y segregación de residuos y la capacitación de personal para la manipulación eficiente de los materiales, con el objeto de enfrentar el mal manejo y gestión que se le da a los residuos sólidos. Por otro lado, en la medida que se dé una adecuada gestión de este tipo de residuo, acompañada de técnicas de sensibilización en su uso, se esperaría una disminución de los residuos plásticos (Al Lahou y Alsabbagh 2019).

Contextualizando, con la identificación de las carencias que existen actualmente en torno a los sistemas de gestión de residuos plásticos, y la percepción sobre el plástico como contaminante, hay que transitar hacia prácticas más confiables y soluciones técnicas sostenibles, unidas a la conciencia de la ciudadanía, para abordar este problema de la contaminación ocasionado por el plástico (Parashar y Hait 2021). Sin embargo, hay que tener precaución en que las inversiones en nuevas tecnologías de reciclaje y en investigación y desarrollo sean sostenibles, por cuanto las soluciones y avances que se den deben estar alineadas con respecto a lo que la sociedad demande (Kahlert y Bening 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, autores como Klemeš *et al.* (2020), argumentan que hacia un futuro deben establecerse

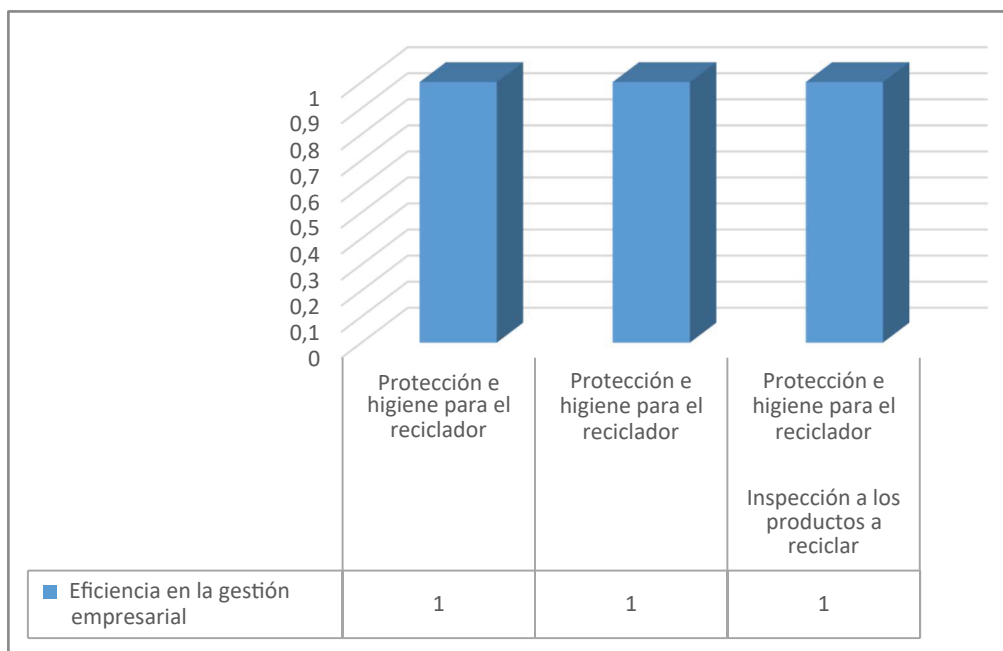
planes de contingencia permanentes, para que funcione la gestión de residuos plásticos en distintas situaciones ya que los métodos tradicionales de tratamiento para este tipo de residuos, incluido el reciclaje y la recuperación de energía cumplen parcialmente, y deben evaluarse en relación con el impacto real con el medio ambiente (Rodríguez *et al.*, 2022).

Además, en toda Latinoamérica, a pesar de que existen políticas para la gestión de residuos sólidos y programas para el reciclaje,

no hay un cumplimiento y seguimiento eficaz de las mismas, presentándose la disposición de los residuos en vertederos o rellenos sanitarios o en algunos casos la quema sin control, acrecentando la contaminación ambiental (Guibrunet *et al.*, 2017). Del mismo modo, las políticas que promueven una reglamentación muy exigente para la gestión de residuos sólidos terminan por conceder los sitios de disposición final (llámense rellenos sanitarios o vertederos) a grandes empresas privadas para su administración (Ibáñez *et al.*, 2018).

Figura 9.

Problemas asociados a la eficiencia en la gestión empresarial



Nota. Elaboración del autor.

Conclusiones e implicaciones

Una vez hecha la revisión a los procesos de aprovechamiento de residuos plásticos en Colombia, se puede concluir que todavía son

incipientes los resultados de los sistemas de gestión de residuos sólidos plásticos (incluyendo los modelos y técnicas de producción y consumo más sostenible), donde la reutilización y el reciclaje juegan

un papel importante en el manejo de este tipo de residuos en países como el nuestro. Lo anterior lo ratifican las bajas tasas de reciclaje, donde en un alto porcentaje los residuos plásticos van a parar a los sitios de disposición final, como lo son los rellenos sanitarios y vertederos.

De igual manera, los procesos que se efectúan para el manejo óptimo y aprovechamiento de residuos sólidos plásticos en el país son muy informales todavía, ocasionando con ello que no se le dé el tratamiento óptimo a estos materiales, aun así, hay interés en entidades del orden nacional, para que, a través de estrategias de desarrollo sostenible, se logre hacer un uso eficiente de los materiales, y se pueda aportar al mejoramiento del medio ambiente.

Se pudo evidenciar que las instituciones gubernamentales como la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, están en su empeño de dar a conocer datos sobre cantidades de residuos sólidos (incluyendo los de plásticos) recolectados, sin embargo, sería más efectivo la coordinación entre organismos del Estado para articular proyectos de sostenibilidad. Las universidades que más realizan investigaciones en el tema del aprovechamiento de residuos plásticos son la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Colombia, y hay organismos y entidades globales que actualmente investigan en técnicas y modelos de producción sostenible, por lo que las entidades nacionales (universidades, institutos de investigación, ONG) deberían tener en cuenta estos estudios con el propósito de desarrollar esas técnicas en

Colombia en pro de disminuir el impacto ocasionado por estos residuos. Por otro lado, el objeto relacionado con la competitividad en el sector del reciclaje es el más abordado en los trabajos de investigación.

Referencias

- Aguilar, S., Negrete, M., Rosano, G. Sánchez, F., Sánchez, L., Vega, C. and Schables, P. (2023). Marketing strategies for waste recycling: a bibliometric analysis towards the circular economy. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 67565–67581. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27040-y>.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). *Modelo de aprovechamiento La basura no es basura. Hacia una cultura de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos en Bogotá*. https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_Modelo_de_aprovechamiento.pdf.
- Al Lahou, A. AND Alsabbagh, M. (2019). Assessment of municipal solid waste management in the state of Kuwait. *International Journal of Environmental Science and Development*, 10(2), 51-56. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2019.10.2.1145>.
- Antoniadou, M., Varzakas, T. and Tzoutzas, I. (2021). Circular Economy in Conjunction with Treatment Methodologies in the Biomedical and Dental Waste Sectors. *Circ. Econ.Sust.* 1, 563–592. <https://doi.org/10.1007/s43615-020-00001-0>.

- Arandes, J., Bilbao, J. y López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45. <https://arpet.org/docs/Reciclado-de-residuos-plasticos-Revista-Iberoamericana-de-Polimeros.pdf>.
- Arévalo, B. y Caviedes, V. (2021). Análisis de la eficiencia económica y ambiental de las bolsas ecológicas en la producción del sector comercio del departamento del Cesar. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, 17(17), 35-42. <https://doi.org/10.22463/24221783.3704>.
- Aristizábal, C., González, J. y Gutiérrez, J. (2020). Análisis del ciclo de vida y cálculo de la huella de carbono para un proceso de reciclaje de botellas PET en Medellín. *Producción + Limpia*, 15(1), 7-24. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a1>.
- Arthuz, L. y Pérez, W. (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador Técnico*, 83(2), 209-219. <https://doi.org/10.23850/22565035.1638>.
- Bocken, M., Pauw, I., Bakker, C. and Grinten, B (2016) Product design and business model strategies for a circular economy, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320, DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124.
- Campoverde, J., Carrillo, M., Jiménez, J., Roldán N. y Coronel, K. (2022). Revisión de la literatura sobre logística inversa, sus aplicaciones y tendencias futuras. *Enfoque UTE*, 13(2), 31-47. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.782>.
- Cámara de Comercio de Bogotá, (2020). *Caracterización de la cadena de valor de aprovechamiento de residuos del material plástico, celulosa y residuos de construcción y demolición RCD*. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/items/9999a08c-7b8d-4307-a4e4-c1137e850c37>.
- Carrasco, M. and Tonon, L. B. (2023). The path to circularity: A literature review of its application in Latin America. *Economía & Negocios*, 5(1), 272-287. <https://www.doi.org/10.33326/27086062.2023.1.1547>.
- Coelho, T. M., Castro, R. and Gobbo Jr., J. A. (2011). PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 291-299. <https://www.doi:10.1016/j.resconrec.2010.10.010>.
- Colorado, H. A. and Echeverri-Lopera, G. I. (2020). The solid waste in Colombia analyzed via gross domestic product: towards a sustainable economy. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (96), 51-63. <https://www.doi.org/10.17533/udea.redin.20191046>.
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Carreón, J. R. and Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through

- the circular economy. A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>.
- Chicas, S. y Arias, J. (2022). Valor compartido a través de la economía circular: reinventando la cadena de valor de la logística de plásticos en Colombia. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*. 18(35). <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v18i35.4032>. https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/cuaderlam/article/view/valor_compartido_economia_circular_plasticos.
- Cruz, A. y Zaldúa, J. (2020). Análisis de ciclo de vida del poliestireno expandido usado en contenedores de alimentos en Colombia. *Ingeciencia*, 3(2), 53-65. https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2874.
- De la Hoz, E., Vélez, J. y López, L. (2017). Modelo de programación lineal multiobjetivo para la logística inversa en el sector plástico de polipropileno. *Información Tecnológica*, 28(5), 31-36. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000500005>.
- Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V. A., Granados-Briceño, A. F., García, L. M. B. and Díaz, L. F. E. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.058>.
- Guibrunet, L., Calvet, M. S. and Broto, V. C. (2017). Flows, system boundaries and the politics of urban metabolismo: Waste management in México City and Santiago de Chile. *Geoforum*, 85, 353-367. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.10.011>.
- Greenpeace Colombia, (2022). Mejor sin plásticos: la contaminación plástica en Colombia y el mundo. <https://www.greenpeace.org/colombia/>.
- Greenpeace Colombia, (2019). Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente. línea: http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf.
- Guarnieri, P., Cerqueira-Streit, J. A. and Batista, L. C. (2020). Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104541. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104541>.
- Huysman, S., De Schaepmeester, J., Ragaert, K., Dewulf, J. and De Meester, S. (2017). Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.013>.
- Ibáñez-Forés, V., Coutinho-Nóbrega, C., Bovea, M. D., de Mello-Silva, C.

- Lessa- and Feitosa-Virgolino, J. (2018). Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.027>.
- Jaligot, R., Wilson, D. C., Cheeseman, C. R., Shaker, B. and Stretz, J. (2016). Applying value chain analysis to informal sector recycling: A case study of the Zabaleen. *Resources, Conservation and Recycling*, 114, 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.006>.
- Jiménez, G., Santos, G., Félix, M., Hernández, H. and Rondón, C. (2019). Good Practices and Trends in Reverse Logistics in the plastic products manufacturing industry. *Procedia Manufacturing*, 41, 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.021>.
- Kahlert, S. and Bening, C. R. (2020). Plastics recycling after the global pandemic: resurgence or regression? *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104948>.
- Klemeš, J. J., Van Fan, Y., Tan, R. R. and Jiang, P. (2020). Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, 109883. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109883>.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, (2020). Colombia y la nueva revolución industrial Propuestas del foco de tecnologías convergentes e industrias 4.0. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/colombia_y_la_nueva_revolucion_.pdf.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019-Final.pdf>.
- Morales, M., Marañón, A., Hernández, C., Michaud, V. and Porras, A. (2023). Colombian Sustainability Perspective on Fused Deposition Modeling Technology: Opportunity to Develop Recycled and Biobased 3D Printing Filaments. *Polymers* 2023, 15, 528. <https://doi.org/10.3390/polym15030528>.
- Mendoza, R., Niebles, E., Barreto, C., Fábregas, J. y Buelvas, E. (2020). Análisis de la cadena de valor del reciclaje de plástico. Un caso de estudio en el departamento del Atlántico (Colombia). *Espacios*, 41(25), 171-183. <https://revistaespacios.com/a20v41n25/a20v41n25p14.pdf>.
- Mwanza, B. G. and Mbohwa, C. (2017). Drivers to sustainable plastic solid waste recycling: a review.

- Procedia Manufacturing*, 8, 649-656. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.083>.
- Negrete-Cardoso, M., Rosano-Ortega, G., Álvarez-Aros, E. L., Tavera-Cortés, M. E., Vega-Lebrún, C. A. and Sánchez-Ruíz, F. J. (2022). Circular economy strategy and waste management: A bibliometric analysis in its contribution to sustainable development, toward a post-COVID-19 era. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(41), 61729-61746. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18703-3>.
- Palomino, A. Q. y Huisa, V. Q. (2021). Reutilización y reciclaje de residuos sólidos en economías emergentes en Latinoamérica: una revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 13184-13202. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1316.
- Parashar, N. and Hait, S. (2021). Plastics in the time of COVID-19 pandemic: protector or polluter?. *Science of the Total Environment*, 759, 144274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144274>.
- Peña Montoya, C. C., Osorio Gómez, J. C., Vidal Holguín, C. J., Torres Lozada, P. and Marmolejo Rebellón, L. F. (2015). Reverse logistics in the plastics subsector: Main facilitators and barriers. *Ingeniería e Investigación*, 35(3), 27-33. <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v35n3.49834>.
- Pineda, J., Cervera, A. y García, O. (2017). Revisión bibliográfica de la aplicación de la metodología DEA en Colombia por actividad económica. *Civilizar Ciencias Sociales y Humanas*, 17(32), 133-160.
- Reyes, D., Reátegui, A., Muñoz, H., Puscan, M., Ilich, G., Fernández, L. and Alva, F. A. C. (2022). Methods for the treatment of solid waste for a sustainable final disposal. A systematic review between 2017-2022. <https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/full-papers/FP24.pdf>.
- Rincón-Moreno, J., Ormazábal, M., Álvarez, M. J. and Jaca, C. (2021). Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123605>.
- Rodríguez, P., Plazas, G. and Hernández, M. (2022). Sustainability policies for circularity in Latin America. *Revista de Análisis Económico*, 37(1), 105-126. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-88702022000100105>.
- Samarasinghe K., Pawan Kumar S. and Visvanathan C (2021). Evaluation of circular economy potential of plastic waste in Sri Lanka. <https://doi.org/10.1002/tqem.21732>.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios]. (2019). Informe sectorial de la actividad de aprovechamiento 2019. <https://www.superservicios.gov.co/node/537>.

- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [Superservicios]. (2021). *Informe nacional de disposición final de residuos sólidos 2020*. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_df_2020%20%281%29.pdf.
- Scheinberg, A. and Michael, S. (2015). A Tale of Five Cities: Using Recycling Frameworks to Analyse Inclusive Recycling Performance. *Waste Management & Research*. doi:10.1177/0734242X15600050.
- Valenzuela, J., Espinoza, A. and Alfaro, M. (2019). Design of a reverse logistics chain for a circular economy business model. *Ingeniería Industrial*, 40 (3), 306-315. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362019000300306&script=sci_arttext&lng=en.
- Williams, A. T. and Rangel-Buitrago, N. (2022). The past, present, and future of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113429. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113429>.
- Yu, H. and Solvang, W. D. (2016). A general reverse logistics network design model for product reuse and recycling with environmental considerations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87, 2693-2711. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8612-6>.