

**Análisis de la Eficiencia del Sistema de Economía Circular para Bombillas, Pilas
y Llantas en Colombia, 2017 – 2021**

Angélica Patricia Celis Prada

Trabajo de Grado para Optar por el Título de Economista

Director:

Rafael Alcides Téllez Sánchez

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ciencias Humanas

Escuela De Economía

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mi abuela, por creer en mí siempre, aquel ser especial que me demostró su amor inconmensurable en cada momento y me protege desde la eternidad. A mi madre, por ser un gran pilar en mi vida, por sus oraciones, entrega y gran esfuerzo. A mi pareja sentimental, por motivarme, su apoyo incondicional, sincero amor y recordarme que siempre puedo.

Angélica Patricia Celis Prada.

Agradecimientos

Principalmente a Dios, por la vida y la oportunidad de haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi abuela, madre, pareja sentimental y a mis dos mejores amigos mi enorme agradecimiento por el infinito apoyo humano y sentimental que me demuestran a diario.

Finalmente, gracias a la Universidad Industrial de Santander por el conocimiento, valores experiencias vividas y la fortuna de permitirme crecer como profesional.

Angélica Patricia Celis Prada.

Tabla de Contenido

	Introducción	13
1	Formulación del problema y pregunta objeto	15
2	Justificación.....	19
3	Objetivos	23
	3.1 Objetivo General	23
	3.2 Objetivos Específicos.....	23
4	Hipótesis.....	23
5	Marco Teórico	24
6	Antecedentes	27
	6.1 Contexto de las empresas manufactureras colombianas	29
	6.2 Antecedentes Internacionales	37
7	Metodología	41
8	Resultados	49
9	Conclusiones y Recomendaciones.....	55
10	Referencias	57

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Actividades económicas generadoras de Residuos Peligrosos	16
Ilustración 2 Economía lineal vs Economía circular.	25
Ilustración 3 Variación total de la producción, ventas y personal ocupado en la industria manufacturera en Colombia.....	30
Ilustración 4 Consumo de productos energéticos por actividad económica	32
Ilustración 5 Energía consumida según el tipo de industria manufacturera y origen de la energía en 2022.	33
Ilustración 6 Emisiones GEI generadas por unidad de energía consumida (actividades económicas y hogares)	34
Ilustración 7 Tasa de reciclaje en Colombia, 2012 - 2020.....	35
Ilustración 8 Puntos de recolección según la categoría del residuo	45
Ilustración 9 Consumo y recolección de llantas.....	47
Ilustración 10 Consumo y recolección de bombillas.....	48
Ilustración 11 Consumo y recolección de pilas.....	49
Ilustración 12 Tasa de uso circular, consumo y recolección de llantas.	50
Ilustración 13 Tasa de uso circular, consumo y recolección de bombillas.	52
Ilustración 14 Tasa de uso circular, consumo y recolección de pilas.....	53
Ilustración 15 Tasa de uso circular de llantas, bombillas y pilas.	55

Lista de Tablas

Tabla 1 Meta de aprovechamiento de residuos, incremento anual en periodo de evaluación.	37
Tabla 2 Puntos de recolección por departamento	44
Tabla 3 Tasa de uso de material circular en llantas.....	49
Tabla 4 Tasa de uso de material circular de bombillas.	51
Tabla 5 Tasa de uso de material circular en pilas.	53
Tabla 6 Tasa de uso de material circular por materiales.	54

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Total puntaje planes colectivos de gestión ambiental.	36
Ecuación 2 Tasa de uso de material circular.....	42

Abreviaturas

ANDI: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

BID: Banco Interamericano de Desarrollo.

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DNP: Departamento Nacional de Planeación.

DOFA: Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.

EAM: Encuesta Anual Manufacturera.

EC: Economía Circular.

EMMET: Encuesta Mensual Manufacturera con Enfoque Territorial.

ENEC: Estrategia Nacional de Economía Circular.

GWh: Gigavatio hora.

KWh: Kilovatio hora.

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

PIB: Producto Interior Bruto.

SIEC: Sistema de Consulta de Información.

UAESP: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.

Resumen

TITULO: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA BOMBILLAS, PILAS Y LLANTAS EN COLOMBIA, 2017 – 2021.

AUTORA: ANGELICA PATRICIA CELIS PRADA.

PALABRAS CLAVES: ECONOMÍA CIRCULAR, TASA DE USO DE MATERIAL CIRCULAR, MATERIAS PRIMAS SECUNDARIAS, CICLO DE USO, INDUSTRIA MANUFACTURERA, RECOLECTADO.

DESCRIPCION:

La presente investigación parte de una revisión teórica sobre el impacto causado en Colombia y el mundo por el uso del modelo económico lineal y la implementación del modelo de economía circular. Anteriormente se utilizaba el modelo de economía lineal, pero se observó que generaba muchos desechos que terminaban afectando al ecosistema y también causaba una pérdida de posibles recursos que se podrían reutilizar nuevamente. Por esto se plantea el uso de un modelo de economía circular que tiene como principal fuerte la máxima reutilización de recursos y reducir los desechos tratados promoviendo un consumo sostenible sin afectar el crecimiento económico y presentando una alternativa al consumo responsable con base en la limitación de los recursos naturales, esto permite una vida más útil de los residuos por medio de la recolección e incorporación en el ciclo productivo. Para el análisis se realiza una recopilación de datos sobre unidades producidas y recolectadas por parte de las entidades del DANE y el ANLA respectivamente para las llantas, pilas y bombillas en un periodo comprendido entre el año 2017 a 2021, donde por medio de la implementación de una tasa de uso de material circular se analiza la variación entre la relación de la materia prima recolectada

contra lo producido observando un aumento de la tasa entre el periodo de tiempo demostrando que hubo un aumento en la recolección, pero de igual manera una disminución en la producción de materia prima, de este estudio se puede concluir que se presenta una mejora en la implementación del modelo de economía circular ya aprovechándose mejor la producción de materia prima así como el apoyo de la población con la respectiva recolección del producto final, también hay que tener en cuenta que esto es un proceso continuo que necesita de constante retroalimentación y mejora, como por ejemplo en la estandarización de la información recolectada así como un mejor control y accesibilidad de los datos.

Abstract

TITLE: ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE CIRCULAR ECONOMY SYSTEM FOR LIGHT BULBS, BATTERIES AND TIRES IN COLOMBIA, 2017 - 2021.

AUTHORS: ANGELICA PATRICIA CELIS PRADA.

KEY WORDS: CIRCULAR ECONOMY, CIRCULAR MATERIAL USE RATE, SECONDARY RAW MATERIALS, USE CYCLE, MANUFACTURING INDUSTRY, COLLECTED.

DESCRIPTION:

The present research starts from a theoretical review on the impact caused on Colombia and the world by the use of the linear economic model and the implementation of the circular economy model. Previously the linear economic model was used, but it was observed that it generated a lot of waste that ended up affecting the ecosystem and also caused a loss of potential resources that could be reused again. For this reason, the use of a circular economy model is proposed, whose main strength is the maximum reuse of resources and the reduction of treated waste, promoting sustainable consumption without affecting economic growth and presenting an alternative to responsible consumption based on the limitation of natural resources, this allows a more useful life of waste through the collection and incorporation into the production cycle. For the analysis, a compilation of data on units produced and collected by the entities of DANE and ANLA respectively for tires, batteries and bulbs in a period between 2017 and 2021, where through the implementation of a rate of use of circular material is analyzed the variation between the ratio of raw material collected against the produced observing an increase in the rate between the period of time showing that there was an increase in the collection,

From this study it can be concluded that there is an improvement in the implementation of the circular economy model, taking better advantage of the production of raw material as well as the support of the population with the respective collection of the final product. It must also be taken into account that this is an ongoing process that needs continuous feedback and improvement, such as standardization of the information collected as well as better control and accessibility of the data.

Introducción

A través de los años, las sociedades en Colombia y el mundo han tenido un fundamento de economía lineal el cual se centra en la recolección de materia prima con el fin de realizar su respectivo proceso, hacer uso del producto final y al momento que este finalice su ciclo de vida desecharlo junto con todos los residuos generados a lo largo de la producción. Este sistema pese a que tiene un buen rendimiento, genera un impacto negativo en la sociedad y en el ecosistema como, por ejemplo, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad de especies y la pérdida de fertilidad del suelo (Ellen Macarthur Foundation, 2014).

A lo largo de los años, se ha observado el aumento de la generación de residuos contaminantes entre los que destacan las pilas y las llantas, así como los residuos de las entidades hospitalarias (MinAmbiente, 2022). Los residuos peligrosos generan un gran impacto, ya que como por ejemplo las baterías, sus componentes si no son tratados correctamente, puede generar un daño no solo a ecosistema si no al ser humano. De este punto nace una propuesta de un nuevo modelo económico circular donde el fin, es lograr un máximo aprovechamiento de las materias primas logrando extender su ciclo de vida, ya que las investigaciones apuntan a que aproximadamente el 50% de los residuos sólidos podrían reutilizarse (Serna, 2019), además, se busca lograr una eliminación o reducción de los diferentes desechos peligrosos generados en el medio ambiente. a pesar que la economía circular es un concepto que se presentado desde la década de los 70's, recientemente se ha realizado una implementación en Colombia de este modelo. Gracias a la ayuda de la de los responsables políticos que han tenido interés en aplicar diversas estrategias nacionales como por ejemplo “pacto por Colombia, pacto por equidad”, permitiendo generar una concientización entre la población y enseñanza para realizar el correcto reciclaje para luego su respectiva recolección, de igual forma, las industrias manufactureras también se han visto beneficiadas sobre el correcto uso del reciclaje y reutilización de los residuos.

El objetivo principal de este proyecto es realizar una investigación de la información suministrada sobre la producción y recolección de pilas, llantas y bombillas, ya que estos son elementos que tienen un gran impacto tanto en sus residuos peligrosos, así como en la cantidad de consumo. Con esta información se pretende responder a la siguiente pregunta: ¿Es eficiente el sistema de recolección y reciclaje para la economía circular de bombillas, pilas y llantas en Colombia?

Este documento consta de 3 apartados principales, el primero se hará una explicación más profunda sobre los antecedentes, el impacto causado con el modelo de economía lineal al medio ambiente y el funcionamiento e implementación del modelo de economía circular. El segundo apartado corresponde a una investigación sobre los datos suministrados por las entidades ambientales y económicas donde se observará las variaciones en un periodo correspondiente entre 2017 y 2021. Finalmente se presentará un análisis por medio de una tasa de uso circular del material determinando la variación en la reutilización de la materia prima para verificar la eficiencia de este modelo en Colombia.

1 Formulación del problema y pregunta objeto

La economía tiene como base fundamental la optimización de los recursos para preservar el bienestar de la sociedad a largo plazo. Sin embargo, este proceso ahonda en problemáticas desde los inicios de la revolución industrial, dada la alta producción y demanda de bienes. Dado el incremento de la población a nivel mundial y la limitación de recursos, a largo plazo es insostenible mantener el modelo de consumo convencional. Los países desarrollados están adoptando nuevos estilos de producción y consumo que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente. Adicionalmente, también se busca maximizar la disponibilidad de los recursos por una cantidad superior de años a la proyectada dado el modelo convencional.

En la siguiente gráfica se puede observar que productos como las pilas, las baterías y acumuladores eléctricos han tenido un gran aumento en los últimos años en el aporte a la generación de residuos peligrosos en Colombia, de igual manera, los residuos producidos por actividades en hospitales y clínicas se encuentran entre los mayores generadores de estos, según MinAmbiente (2022). Por otra parte, Collazos, J y Cifuentes, A. (2018) afirman que no es posible darle un manejo adecuado a la etapa de post consumo de estos residuos, dada la falta de infraestructura en Colombia.

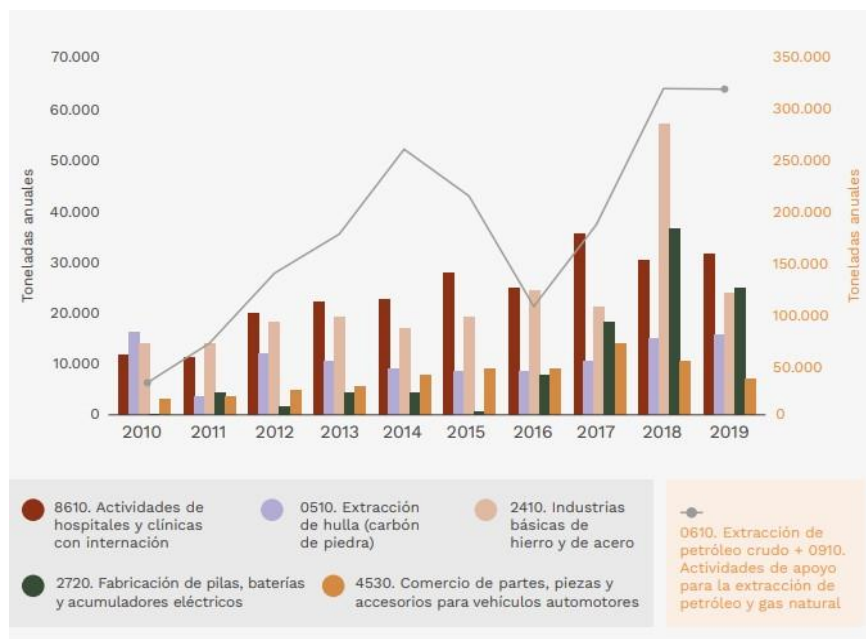


Ilustración 1 Actividades económicas generadoras de Residuos Peligrosos

Cabrera (2015) afirma que el sector automotriz genera grandes cantidades de residuos, debido a la cantidad de repuestos y cambios de aceite, entre otros mantenimientos que generalmente se le realizan a un coche. Debido a estas actividades económicas, es necesario plantear políticas que aseguren una producción responsable de bienes y servicios sostenible y amigable con el medio ambiente. El modelo de producción y consumo lineal genera grandes cantidades de contaminación donde una de las causas es el corto ciclo de uso de los bienes. Estas deficiencias traen como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero, la erosión, la deforestación, la extinción de especies y ecosistemas, la contaminación y la causa de enfermedades que afectan el bienestar de los seres vivos (DANE, 2021, <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/censo-economico/info-metodologica/CE-documento-metodologico-economia-circular.pdf>)

Por otra parte, a nivel internacional hay compromisos para el cumplimiento de la agenda 2030, donde los objetivos, 8: “Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos”, el 12 “Garantizar patrones de consumo y producción sostenibles” y el 14 “ Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los

recursos marinos para el desarrollo sostenible”: establece que debe existir una gestión eficiente y sostenible de los recursos naturales, según la OCDE.

En línea con lo anterior, se refleja una necesidad de implementar el modelo de economía circular en la industria. Acoplásticos (2019) en un estudio realizado con la Universidad Piloto de Colombia encontraron que “200 empresas recicladoras de plástico posconsumo de Bogotá transforman, en promedio, 9.000 toneladas por mes”. Dados los resultados de la investigación, el presidente de Acoplásticos, Daniel Mitchell, afirma que “el reciclaje se proyecta como una solución real y tangible al desafío ambiental de los residuos plásticos, así como una gran oportunidad de empleo y desarrollo social para Colombia”. El estudio también reveló que el 58% de las empresas encuestadas transformaron sus residuos plásticos en un producto final y el 42% transformó sus residuos en materia prima para luego comercializar esta para la producción de nuevos bienes.

Por ende, el desarrollo de esta investigación pretende mostrar evidencia de los beneficios de la implementación del modelo de economía circular en la industria manufacturera en Colombia, a través del reciclaje y uso de pilas, bombillas y llantas que han terminado su ciclo de uso o se encuentran en su etapa de post consumo. Ello se hará por medio de la construcción de la tasa de uso de material circular con los datos disponibles en datos abiertos cuyo miembro de la data es la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). En ese sentido, la pregunta problema a responder es la siguiente, ¿Es eficiente el sistema de recolección y reciclaje para la economía circular de bombillas, pilas y llantas en Colombia?

Las investigaciones también señalan que aproximadamente el 50% de los residuos sólidos producidos tiene el “potencial” para ser reutilizados. Sin embargo, la falta de interés de los productores y consumidores, la baja inversión, los altos costos de innovación y la falta de conexión empresarial a nivel local, son los principales factores que detienen el progreso en la implementación de procesos sostenibles en las cadenas productivas (Serna, 2019). En 2020, un

total de 172.726 toneladas de residuos sólidos se disiparon en el medio ambiente sin darle un manejo adecuado y generando contaminación. Aunque los datos muestran que desde 2012 se ha realizado una mejor gestión en la manipulación de los residuos a pesar de la creciente generación de desechos, aún existe una cantidad significativa de residuos que se arrojan en el ambiente (DANE, 2022a).

En ese orden de ideas, los esfuerzos que hacen las unidades económicas generadoras de desechos en lo referente a la Economía Circular, son relevantes para lograr los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la conservación de los recursos naturales a largo plazo, la reducción de desechos, el aumento en la tasa de reciclaje y la implementación de nuevos modelos de negocio que se basan en el modelo de Economía Circular. Para 2021, el DANE registró que solo 2 millones de hogares clasificaron las pilas y las baterías a nivel nacional. Adicionalmente, en solo 9 departamentos, más del 50% de los hogares clasifican las basuras ya sea por desperdicios de alimentos, plástico, vidrio, papel, cartón, medicamentos, pilas, baterías y envases metálicos. No obstante, en 23 departamentos del país, menos de la mitad de los hogares clasifican las basuras. Ello evidencia la necesidad de políticas sobre el manejo responsable de los desechos y la cantidad de trabajo que tienen las autoridades para incrementar la cantidad de hogares que realizan una clasificación adecuada de los residuos y la reducción de estos desperdicios dispersos en el medio ambiente.

Por otra parte, hay políticas que son actualmente una barrera para la transición hacia un modelo de economía circular. Por ejemplo, el subsidio al petróleo obstaculiza la inversión en energías renovables y aunque en el mercado bursátil se han cotizado empresas con modelos económicos circulares, se han encontrado otros problemas que atacan el medio ambiente. El almacenamiento de la energía renovable ha generado una cantidad considerable de baterías para desecho. La energía solar y eólica, suele almacenarse en baterías que pueden ser usadas para los automóviles. No obstante, se estima que, de continuar este proceso de almacenamiento,

habrá aproximadamente 11 millones de toneladas de baterías de carros eléctricos para 2030. A pesar de los esfuerzos por diseñar baterías que se puedan reciclar o refabricar, hay baterías que son desechadas con tan solo el 20% de uso de su vida útil. A esto se le suma que estas baterías contienen litio el cual se pronostica, comenzará a escasear en el 2025. Uno de los procesos de economía circular más relevantes implementados actualmente por empresas extranjeras como Veolia en su planta de reciclaje es la extracción de metales de las baterías usadas como materia prima para la fabricación de nuevas baterías. La economía circular es tanto la reducción de residuos como la transición hacia la generación de energía renovable.

2 Justificación

La obtención de los bienes y servicios necesarios para satisfacer el creciente e ilimitado consumo humano mediante la transformación de los recursos naturales limitados, es el punto de partida para responder a los múltiples problemas de aprovechamiento y escasez del mundo de hoy día. Del modelo de economía lineal se derivan dichos problemas el cual es un elemento fundamental en el desarrollo de las actividades productivas. Según el Foro Económico Mundial este modelo extrae recursos para su refinamiento, elaboración, distribución y desecho de bienes cuya vida útil u obsolescencia genera residuos a muy corto plazo (World Economic Forum, 2014). Es por esta razón que se hace necesario en la economía el desarrollo de un nuevo concepto que recoja las necesidades de la sociedad y esté acorde a los objetivos de desarrollo (ODS) y la producción sostenible. La economía circular nace como una alternativa transformadora tanto en el modelo de producción como en el consumo. Además, el modelo ofrece prácticas que están estrechamente relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Romero y Carvajalino (2020) afirman que el modelo de Economía circular contribuye en un 51% al cumplimiento de las metas de los siguientes objetivos: 9. Industria, Innovación e Infraestructura; 12. Consumo y producción sostenible y 13. Acción por el clima.

Los investigadores por su parte, consideran que se debería incrementar las prácticas del modelo circular para que haya un impacto significativo.

La economía circular, además de revertir los procesos destructivos de la explotación de recursos y preservar la sostenibilidad y la biodiversidad del planeta, incrementa o genera valor para las cadenas productivas (Morell & Bilbao, 2018). Sus principios ofrecen entonces, una descripción de cómo deberían funcionar los procesos y las fuentes de creación de valor en la economía según el tipo de producción (Morell & Bilbao, 2018).

Desde finales de la década de los 70 's, las prácticas que caracterizan al modelo de Economía circular, han ido cobrando relevancia. Una de las ventajas más relevantes de este modelo es la creación e innovación en los procesos de producción y la generación de empleo a través de la reutilización. Con base en esto, una de las formas de creación de valor en la economía circular son las cadenas de valor interconectadas, las cuales generan cero desperdicios desde la producción hasta la eliminación, lo que minimiza la destrucción de valor de los recursos, potencializando mercados sostenibles basados en dicho proceso de producción. Esto genera una recuperación de residuos que luego son usados como punto de partida o materias primas en la cadena productiva (Estévez, 2017). En Reino Unido, la energía que se consume proviene mayoritariamente de la energía renovable desde el año 2020, lo cual refleja el avance del sector. No obstante, Tansy Robertson-Fall (2021) en su artículo “A circular economy for batteries to underpin renewable energy growth” afirma que la energía renovable tiene una participación del 11% a nivel mundial, lo que hace evidencia la necesidad de incrementar exponencialmente este porcentaje y reducir drásticamente la energía que proviene de combustibles fósiles. También el presidente del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Ilan Goldfajn, asegura que uno de los desafíos mundiales es la producción de energía limpia para dar cumplimiento a los acuerdos de París y al mismo tiempo evitar los desastres climáticos que tienen un mayor impacto negativo a nivel económico.

El cambio climático ha generado cierta preocupación, de tal manera que ha sido una de las principales causas por las que algunas personas, entes o instituciones, se motivan a implementar el modelo de economía circular. No obstante, no se ha despertado el suficiente interés por parte de la ciudadanía (entre otros agentes económicos involucrados) para aprovechar en mayor medida los residuos generados. De hecho, las inversiones en compañías ecológicas y sostenibles es tendencia, donde empresas como NextEra Energy superó en el mercado bursátil a la multinacional productora de gas y petróleo, ExxonMobil.

Álvarez, Maldonado, Del Pilar (2020) muestra que existen varios tipos de residuos. En el ejemplo de la plaza de mercado se habla del manejo de residuos orgánicos, no obstante, hay otro tipo de residuos que deben tener un tratamiento de reciclaje obligatorio dado su alto nivel de toxicidad para los humanos y el medio ambiente. Estos se denominan residuos peligrosos y dentro de esta categoría se pueden encontrar productos como bombillas, lámparas fluorescentes, balastos, aceite usado, baterías usadas, tóner, entre otros residuos con características tóxicas, inflamables o corrosivas (MinAgricultura, 2021).

En Colombia se introduce la Estrategia Nacional de Economía Circular dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” con el fin de fomentar el uso eficiente de energía e insumos bajo el lema “**producir conservando y conservar produciendo**”. La estrategia se plantea con el fin de reducir los gases de efecto invernadero, aumentar las tasas de reciclaje y reutilización de residuos sólidos. Todos estos objetivos se plantean en armonía con las políticas internacionales y la agenda trazada a 2030 de los ODS (MinAmbiente, MinComercio. 2019). Adicionalmente, crea la Política de Crecimiento Verde con el CONPES 3934 liderada por el Departamento Nacional de Planeación y la cual sigue las recomendaciones de expertos sobre uso sostenible de la vegetación, la fauna, la flora, las cuencas, entre otros. Por medio de esta política con objetivos a 2030, se quiere fomentar la economía circular dadas las problemáticas encontradas como lo son: el bajo

porcentaje de reciclaje (20%) en comparación con las tasas internacionales (50% y 40%) (DNP, 2018). Entre otras de las problemáticas identificadas está la “Falta de instrumentos de información” donde las líneas estratégicas a seguir son la “Formulación de una propuesta metodológica para coordinar el proceso de producción”, “definir protocolos de separación” y “Diseñar proyectos para el tratamiento de residuos sólidos”.

En ese orden de ideas, esta investigación surge de las consideraciones anteriores y pretende dilucidar las formas de aprovechamiento de residuos industriales de la cadena productiva de bienes como las pilas, las llantas y las bombillas. La selección de estos bienes en específico, se debe a la limitación en la disponibilidad de datos para el desarrollo de la metodología, además de ser productos con una alta demanda donde un aporte sobre el reaprovechamiento de los residuos producidos por la producción de estos bienes, generará un mayor impacto nacional. Algarra (2015) afirma que en la ciudad de Bogotá se ha implementado un proyecto de posconsumo de llantas en donde se consideró utilizar estos residuos para las capas asfálticas. Este proyecto fue liderado por la Alcaldía Mayor de Bogotá, la Secretaría de Ambiente, la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) y la Asociación Nacional de Industriales (ANDI).

Dada la preocupación de entidades públicas, la implementación de programas pos consumo de los bienes mencionados y el largo camino que Colombia tiene por recorrer, la intención de este trabajo de investigación es aportar teórica y metodológicamente para alcanzar en primera instancia los objetivos a nivel país y luego a nivel internacional. Hay estudios que demuestran que las herramientas de política públicas vigentes y convencionales no generan los resultados esperados para 2030. Se ha señalado que, si no se implementan políticas transformadoras y drásticas, no se lograrán los objetivos ni siquiera para el 2050 (Hofstetter et. al., 2021).

Por último, se pretende servir como acervo metodológico para ser aplicado a muchas otras formas de producción a los cuales se acople el modelo estudiado y aportar para la trazabilidad de líneas estratégicas que permitan alcanzar los objetivos planteados, en términos de política pública.

3

Objetivos

3.1 Objetivo General

Medir la tasa de uso de material circular en productos reutilizables de bombillas, pilas y llantas con el fin de evaluar la eficiencia del modelo de economía circular en Colombia para estos productos, entre los años 2017 - 2021

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los mecanismos de recolección de residuos de llantas, pilas y bombillas aplicados en Colombia.
- Caracterizar las tendencias de recolección de los residuos de llantas, pilas y bombillas en Colombia entre el 2017 y el 2021
- Analizar la eficiencia de la tasa de uso circular de llantas, pilas y bombillas en Colombia entre el periodo de 2017 y 2021.

4

Hipótesis

1. La aplicación de sistemas circulares en Colombia ha sido eficiente para el aumento significativo de la tasa de uso de material circular.
2. La tasa de uso de material circular ha aumentado de manera significativa durante el período 2017 – 2021.

El crecimiento económico de las sociedades históricamente ha tenido como base la economía lineal, la cual ha sido causante de problemáticas sociales que han llevado a establecer soluciones que prolonguen el bienestar de la sociedad. Dado que ésta tiene como fundamento producir, utilizar y desechar, se hace necesario el estudio opuesto de la economía lineal; de esta manera, la producción industrial debe buscar alternativas como la economía circular, para alargar el uso de los productos que desencadenan problemáticas ambientales (Ellen Macarthur Foundation, 2014).

El modelo económico lineal, vigente hoy en día y muy popular en los hábitos consumistas de la región, propone una cadena productiva donde se manufacturan artículos de un solo uso o de corta vida útil. Una vez estos productos llegan al consumidor final, este se encarga de hacer su utilización, terminando en la basura los empaques y residuos reciclables del producto. Es decir, no existe un hábito de reciclaje o reutilización en la parte final de la cadena de estos bienes, corregir esta serie de externalidades es el objetivo misional de la economía circular, para el aprovechamiento eficiente de los recursos materiales disponibles para alargar su ciclo de vida.

La economía circular es un concepto económico de la década de 1970 con el objetivo de encontrar un crecimiento económico sostenible. Fomenta la producción y el consumo de productos y servicios de forma que se minimice la generación de residuos. El concepto ha ganado popularidad entre los responsables políticos, las empresas y los ciudadanos a medida que nuestro modelo económico actual ha comenzado a afectar negativamente al medio ambiente.

La aplicación de la economía circular en procesos productivos industriales aporta a la generación de valor de la elaboración de bienes en la actividad industrial que, a su vez, promueven el consumo sin afectar el crecimiento económico y presenta una alternativa al de

consumo responsable con base en la limitación de los recursos naturales, esto permite una vida más útil de los residuos por medio de la recolección e incorporación en el ciclo productivo (Morató, Tollin, & Jiménez, 2017). En la siguiente figura propuesta por Marcet, Marcet, & Vergés (2018) se evidencia la diferencia del ciclo productivo entre la economía lineal y la economía circular.



Ilustración 2 Economía lineal vs Economía circular.

Tomado de Morató, Tolling & Jimenez (2017)

De acuerdo con Ellen Macarthur Foundation (2014) existen diferentes razones para hacer la transición hacia la economía circular. A pesar que la economía lineal presenta grandes rendimientos, la explotación desmedida provoca externalidades negativas como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad de especies, la pérdida de fertilidad del suelo, entre otros, que producen fuertes impactos y degradan al final de las cadenas productivas la creación de valor en todos sus componentes. A su vez, el uso de la economía lineal lleva consigo gran incertidumbre dada la extracción de recursos que, con su escasez, puede producir cambios significativos en los precios de los insumos, aumentando el riesgo de la inversión. Asimismo, la gran cantidad de desechos provocados por el desarrollo de productos que tienen una vida útil

muy corta y limitada, convierte al uso de esta economía en una aplicación que no crea valor por el corto ciclo de vida de los bienes fabricados.

Con base en lo expuesto anteriormente, la transición a la economía circular se ha convertido en un tema importante de estudio para llevar a cabo su aplicación en la industria. Boulding (1966) implementó por primera vez la idea de economía circular al sugerir un sistema ecológico cíclico como reemplazo al modelo económico lineal; aunque el concepto en sí fue introducido por Pearce y Turner en 1989.

La economía circular es un sistema de estrategias y medidas diseñadas para limitar la generación de residuos. Esto incluye la optimización del diseño de productos, métodos de producción, procesos y materiales para reducir la generación de residuos. Minimizar los desechos reduce la necesidad de nuevos recursos y crea menos contaminación en nuestro medio ambiente. Producir bienes de manera circular reduce el consumo al tiempo que aumenta la producción; esto conduce a una mayor riqueza y bienestar para todos.

La cadena circular de valor, es un concepto que se utiliza para comprender cómo varios componentes de un producto o servicio contribuyen a su valor. Analiza de dónde provienen los materiales de un artículo y cómo estos materiales ayudan a crear otros productos o servicios. De esta forma, cada parte de la cadena de valor contribuye al valor total del artículo. Comprender cómo cada eslabón contribuye al valor general de un artículo es fundamental al repensar cómo debemos producir bienes o brindar servicios. “Una de las fuentes de creación de valor se deriva de mantener los productos, componentes y materiales en uso durante más tiempo dentro de la economía circular. La forma más eficiente de aumentar la duración de los ciclos es que los productos recorran dichos ciclos una y otra vez, como por ejemplo en la reparación o actualización de teléfonos móviles, que se establezca un sistema a través del cual puedan realizarse indefinidamente reparaciones o actualizaciones.” (Morell, 2018)

Muchas organizaciones han encontrado formas de reducir sus desperdicios al comprender la cadena circular de valor en sus cadenas de suministro. Muchas empresas de alimentos ahora obtienen sus productos de granjas locales en lugar de países extranjeros. Esto reduce los costos de transporte al mismo tiempo que reduce la cantidad de combustibles fósiles utilizados en los suministros agrícolas. Las empresas también pueden reducir su desperdicio subcontratando el exceso de capacidad de fabricación a fábricas en países con mano de obra barata. Hacerlo les permite maximizar tanto la producción como la sostenibilidad a costos reducidos.

6**Antecedentes**

En este apartado se quiere contextualizar de forma teórica, los aportes e investigaciones que se han realizado referente al tema que trata esta investigación, en primera instancia. Seguido de una breve caracterización sobre la composición y el comportamiento actual de la industria manufacturera en Colombia. Ello con el fin de dilucidar la situación actual de Colombia e identificar las actividades del modelo de Economía Circular en las cadenas de valor. Relacionar los trabajos de investigación con la composición de la industria, permitirá reconocer en detalle, aquellos bienes que se producen en masa y que carecen de tratamiento de residuos sólidos y definir que requiere de más investigación y aporte por parte de la academia. Es necesario ofrecer información sobre la cantidad de materiales o bienes naturales producidos y demandados en la cotidianidad y demostrar cómo el reciclar parte de ellos, impactará positivamente en la economía global. Esto permitirá encontrar oportunidades de producción sostenible, además de dar cierta luz hacia donde deberían estar dirigidas las investigaciones o precisar sobre la ausencia de información en determinada industria que a futuro representará una oportunidad económica.

Vinajera, Marrero, & Cespón (2020) en su trabajo titulado “*Evaluación de opciones de reciclaje para el fortalecimiento de la economía circular en Norte de Santander*”, desarrolla una herramienta para evaluar la cadena de suministro sostenible por medio de un índice integral en la que la metodología se tratan cinco procesos enfocados en los ámbitos ambiental, económico y social, de esta manera demuestran la factibilidad de la aplicación y uso de la herramienta mencionada ya que se obtiene como resultado un evidente mejoramiento en la cadena.

Por su parte, Arroyo Morocho & Mata Salas, (2019) llevan a cabo un análisis de los efectos de un modelo basado en dinámicas de sistemas de la economía circular en la mejora económica productiva del sector manufacturero de la Zona 2 y 9 del Ecuador el cual muestra que la economía circular presenta una gran ventaja para el sector. Esto sustentado en ahorros significativos en recursos, el cuidado sostenible del medio ambiente y el crecimiento económico en el territorio nacional.

Según Amaya Aguilar (2019) bajo el concepto de la fundación de MacArthur sobre la economía circular, centra su estudio en la aplicabilidad para dieciocho casos, donde se realiza un análisis de las variables, barreras y efectos de la economía circular, obteniendo como resultado, sugerencias para las industrias colombianas con el fin de reforzar y resaltar la ventaja competitiva que está de la mano con la sostenibilidad.

Por otro lado, Ortiz Hermida, (2019) analiza el avance en la implementación del modelo de economía circular y sus dificultades operativas de algunas pymes de la ciudad de Cali. Para cumplir con ello, se evaluó la cadena de suministro, el producto y la empresa por medio de entrevistas realizadas a las pymes para reunir la información pertinente. En este trabajo el autor concluye que la implementación del modelo en el proceso productivo ha avanzado en términos generales, no obstante, las pymes estudiadas tienen un nivel intermedio en relación al tema central, esto debido a que hay ciertas barreras en ámbitos operativos, técnicos y financieros.

Con el mismo propósito de evaluar el progreso de implementación de la Economía circular, se encontró evidencia de un estudio más actual (2022) que por medio de un análisis DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortaleza y Amenazas), se encontró como conclusión general que la mayoría de los aportes examinan el sector agro y de construcción. Entre sus fortalezas se encontró que Colombia está construyendo un sólido sistema legal y político referente a la Economía Circular. Además, se encontraron otros esfuerzos sobre el cambio a un modelo sostenible y se brinda apoyo a la importante gestión de los recicladores dado el papel que desempeñan. En cuanto a sus debilidades, es la falta de interés por parte los actores principales (consumidores y productores), la baja inversión y los altos costos que representa la innovación. Factores como las alianzas, los incentivos y apoyos financieros son instrumentos que ayudarían para el cumplimiento de las metas (Serna, 2022).

Finalmente, en su tesis de maestría (Castillo Salgado, 2018) hace mención a la evolución de la economía lineal la cual los productos luego de ser consumidos, finalizan su ciclo de uso como residuos. En los últimos años el gobierno de Colombia ha promovido la economía circular, por tal motivo se establece la esencia de este trabajo el cual consiste en diseñar una metodología para investigarla la EC con enfoque a la industria manufacturera dado que es muy poca la información referente al tema para así tener mayor conocimiento del estado actual del modelo en Colombia.

6.1 Contexto de las empresas manufactureras colombianas

En este apartado se realiza una contextualización sobre la composición y el comportamiento actual de la industria manufacturera en Colombia. Al igual que el DANE (2021^a), se determina que una Industria manufacturera es “aquella que abarca la transformación física o química de materiales, sustancias o componentes en productos nuevos”.

En ese orden de ideas, resulta relevante analizar el Índice de Producción Industrial el cual muestra el comportamiento de la demanda privada y donde su incremento en los últimos meses del año 2021 fue significativo. No obstante, el día sin IVA sin duda ha sido un gran jalonador de la producción, las ventas y el PIB nacional.

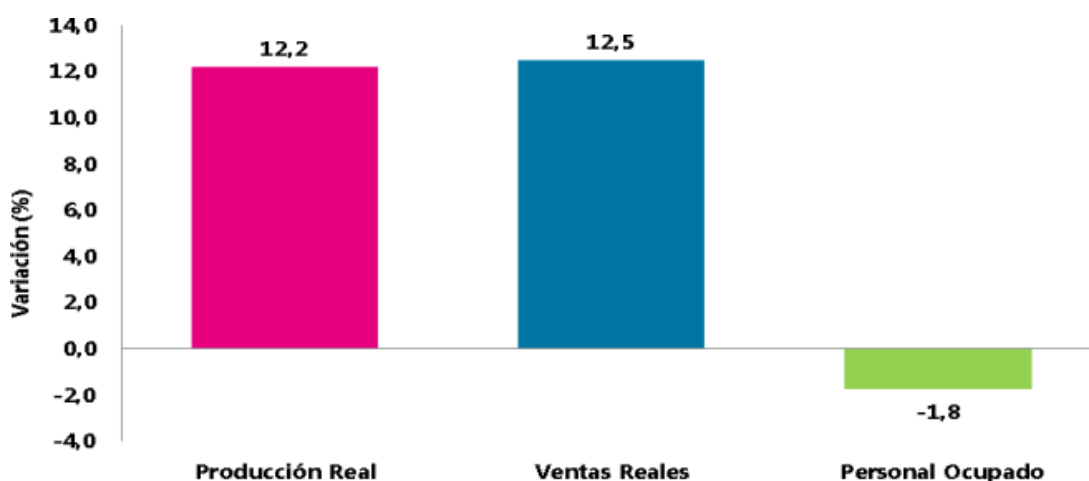


Ilustración 3 Variación total de la producción, ventas y personal ocupado en la industria manufacturera en Colombia (septiembre 2021/ septiembre 2019)

Fuente: DANE (2021). Boletín técnico Encuesta Mensual Manufacturera con Enfoque Territorial (EMMET): https://img.lalr.co/cms/2021/08/12165739/bol_emmet_junio_2021-1.pdf

La gráfica se obtuvo a partir del Boletín técnico publicado por el DANE como producto de la Encuesta Manufacturera con Enfoque Territorial. Desagregando por actividad industrial, se registró una variación positiva en 30 de las 39 actividades cuyo aporte a la **producción total** fue de 12,8%. Según el DANE (2021), la fabricación de sustancias químicas básicas, productos elaborados con metal, productos plásticos, aparatos y equipos electrónicos y la elaboración de aceites y grasas de origen animal son las actividades con las variaciones positivas más significativas en la producción. Es importante resaltar que los residuos de estos productos de

mayor producción son denominados peligrosos, y que requieren de un manejo especial debido a su alta toxicidad para el medio ambiente y los seres humanos. Adicionalmente, dados estos resultados en las estadísticas, se consolida la justificación sobre generar más información y con ella alternativas que permitan eliminar los efectos nocivos como consecuencia de la producción de estos productos previamente mencionados.

El peligro está ligado a la constitución del producto, por lo tanto, los riesgos sobre la salud de los humanos se dan cuando este producto peligroso está en exposición.

Según la información recolectada por el DANE para el quinto informe de Economía Circular, la industria manufacturera fue la actividad económica que consumió más productos energéticos con una participación del 50,2%. Adicionalmente, es posible obtener información sobre la productividad energética de la industria manufacturera a partir del indicador construido con información de la Encuesta Anual Manufacturera. Se mide el valor agregado en miles de pesos por la cantidad de energía utilizada en kilovatio hora (kWh). Aquellas divisiones industriales de mayor valor agregado por kWh, son las de mayor productividad energética. Para 2020, los resultados señalan que la fabricación de otros tipos de equipo de transporte y de vehículos automotores y remolques y semirremolques ocuparon el 3er y 4to puesto de las divisiones industriales con mayor productividad energética. Aunque este último subsector tuvo un mejor desempeño el año previo, pasando de 22,0 miles de pesos/ kWh a 19,1 miles de pesos/ kWh entre 2019 y 2020.

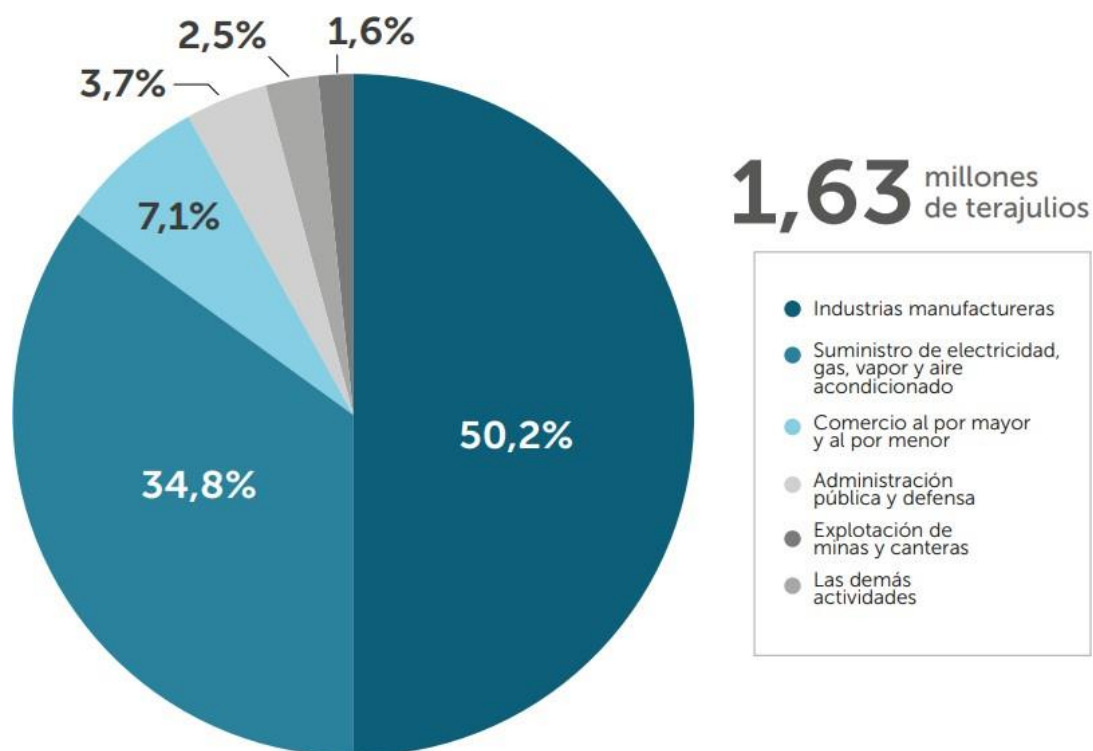


Ilustración 4 Consumo de productos energéticos por actividad económica

Fuente: DANE (2022). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular/economia-circular-historicos>

El informe también brinda información sobre la participación de insumos energéticos renovables sobre el total de productos energéticos de todo tipo, discriminado por actividad económica. Con la construcción de este indicador, se concluyó que de los 765 mil terajulios de productos energéticos consumidos en 2020, el 18,3% son de origen renovable. El consumo total de energía en Colombia se obtiene de la sumatoria de energía comprada, autogenerada y cogenerada, menos la energía vendida, información ofrecida por la Encuesta Anual Manufacturera (EAM). En 2020, la industria manufacturera consumió un total de 15.735 Gigavatio hora (GWh), inferior a lo consumido en 2019 con un total de 16.866 GWh, según el DANE (2022). Ello a razón del confinamiento y el receso en las actividades económicas como

consecuencia de las restricciones de la pandemia. La producción de productos alimenticios tuvo la mayor participación un 21,8% aproximadamente en 2020.

A continuación, un gráfico que muestra a mayor detalle la energía consumida según el tipo de industria manufacturera y el origen de su respectivo consumo.

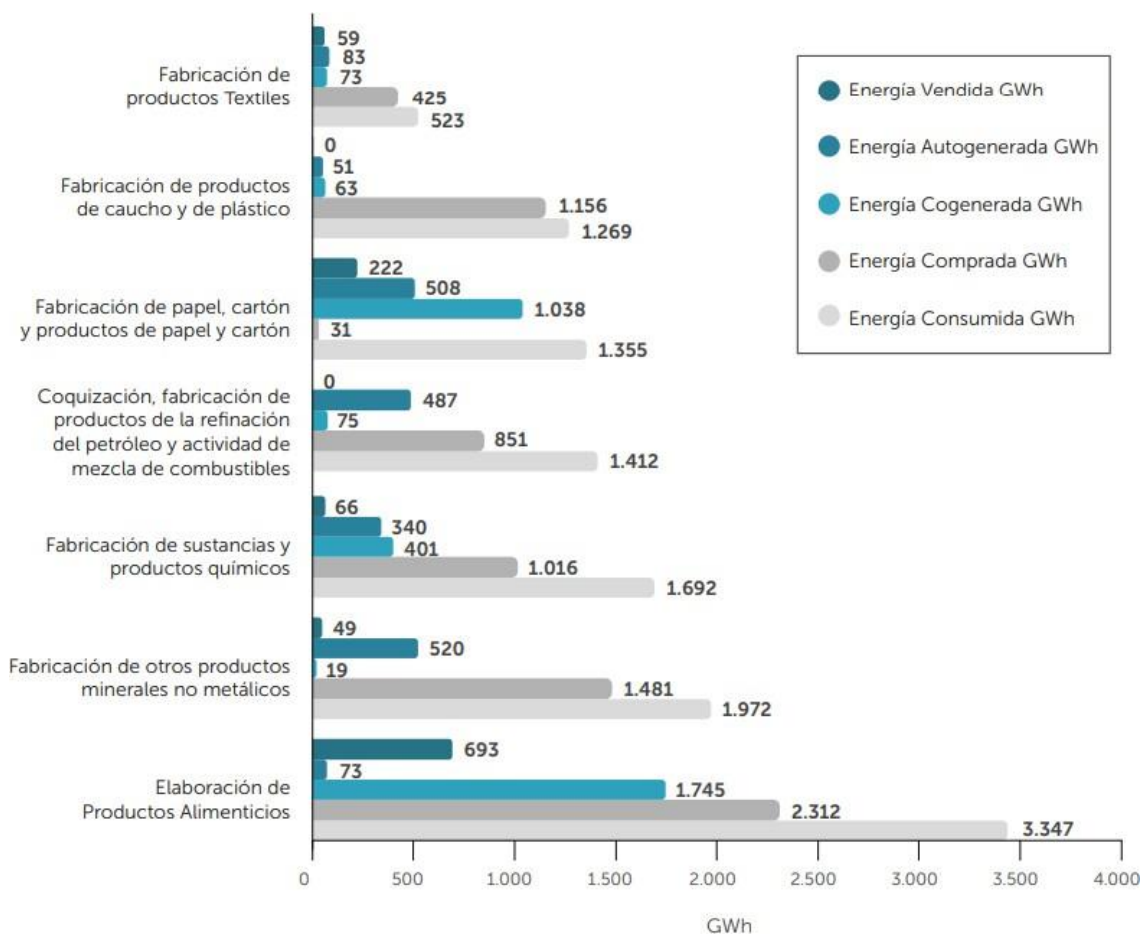


Ilustración 5 Energía consumida según el tipo de industria manufacturera y origen de la energía en 2022.

En Colombia, muchas empresas le temen al cambio. Es importante identificar los incentivos para que las empresas innoven en sus procesos de producción.

Por otra parte, se obtuvo información a través del Sistema de Consulta de Información de Economía Circular del SIEC, sobre las emisiones de gases de efecto invernadero generadas

en la industria manufacturera por unidad de terajulio consumido en energía. En 2019 se registraron 34,33 kilogramos de dióxido de carbono equivalente a emisiones de GEI, una cifra inferior a lo registrado los años previos. Lo ideal es reducir al máximo la emisión de estos gases, objetivo trazado por parte de la ENEC (Estrategia Nacional de Economía Circular).

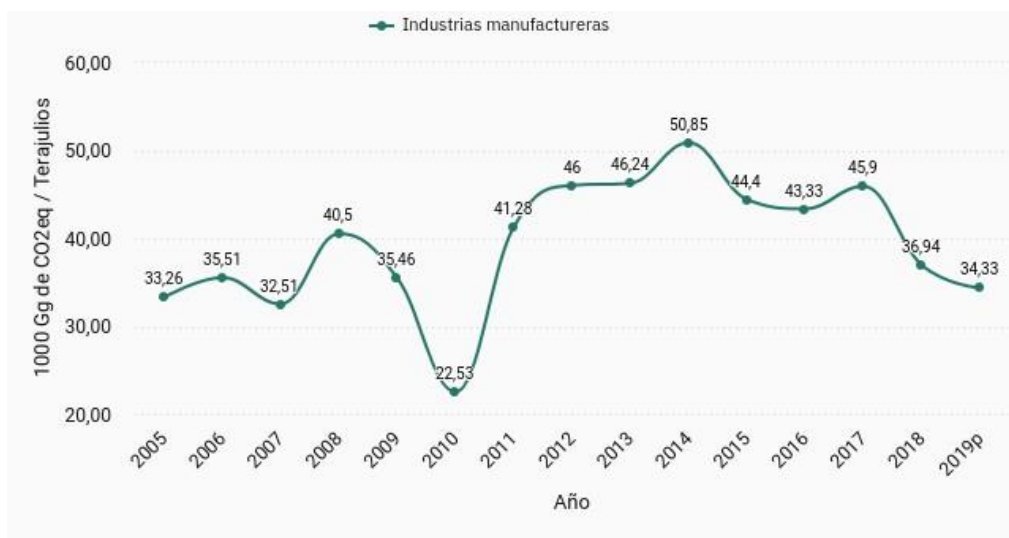


Ilustración 6 Emisiones GEI generadas por unidad de energía consumida (actividades económicas y hogares)

Fuente: Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales – emisiones al aire

Se afirma que las investigaciones realizadas en Colombia son a nivel micro donde solo se analiza la empresa y solo una parte del proceso de producción que se enfoca en la economía circular (Serna, 2019). Por otra parte, los informes realizados por el DANE en referencia al tema, indican que los residuos provienen de los hogares, las importaciones y las actividades económicas que es la unidad con mayor participación.

En el sexto informe del DANE publicado el pasado 2 de diciembre del 2022, nos muestra la tasa de reciclaje obtenida de la razón del total de residuos reutilizados en el proceso de producción sobre el total de residuos sólidos generados. En 2020 se generaron un total de 26,3 millones de toneladas de residuos sólidos donde solo se recicló el 3,8 millón de toneladas,

es decir, se obtuvo una tasa de 14,5% de reciclaje en Colombia para 2020 (Ver imagen #). La mayor parte del material reciclado eran residuos no metálicos (DANE, 2022a).

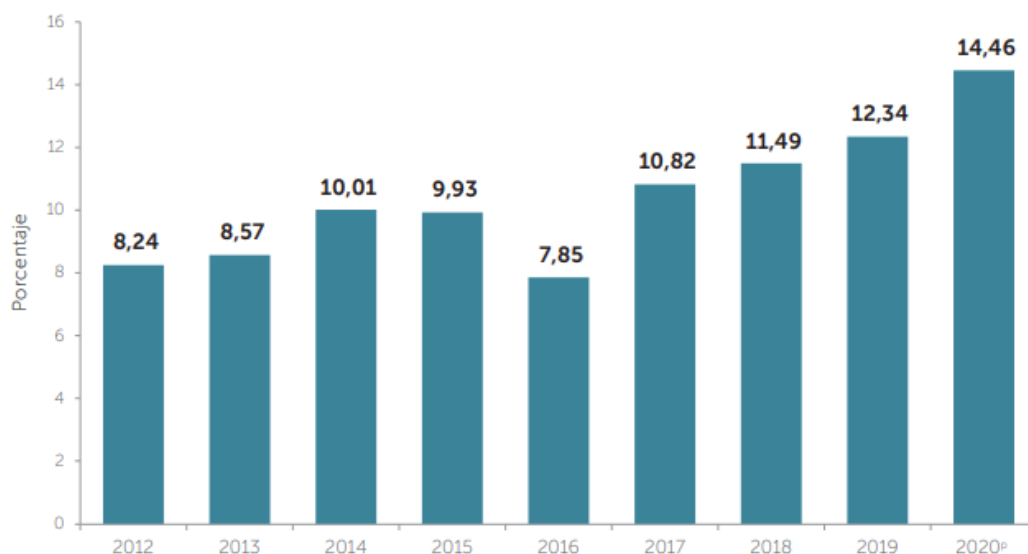


Ilustración 7 Tasa de reciclaje en Colombia, 2012 - 2020

Desde el marco jurídico, el estado colombiano ha incorporado políticas sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos como lo es el CONPES 3874 del 2016 cuyo objetivo es dar un manejo adecuado a los desechos no peligrosos dado las proyecciones en el incremento de los mismos a causa del crecimiento económico y demográfico. Esta política nacional está compuesta de 4 ejes: 1) Dejar de producir gases de efecto invernadero, 2) Reducir la generación de residuos, 3) Reducir la cantidad de residuos que son vertidos en el medio ambiente y tienen un manejo inadecuado y 4) promover la economía circular.

En sintonía con lo establecido por el CONPES 3874 de 2016 se expidió la resolución N° .1342 del 2020 que “modifica la Resolución 1407 de 2018 y se toman otras determinaciones”, en cumplimiento de sus deberes como guardián y protector de los recursos naturales con el fin de garantizar el bienestar y el desarrollo sostenible del país. Allí, en el artículo 8. Determinación de eficiencia de retornabilidad, se detalla el cálculo de esta tasa donde

el peso en toneladas del total de los envases y empaques retornables puestos en el mercado divide al peso en toneladas de estos envases y empaques efectivamente retornados.

En el artículo 5 de la resolución 1342 del 2020 y que modifica al artículo 10 de la resolución 1407 de 2018: Metodología multicriterio de evaluación del cumplimiento del plan de gestión ambiental de residuos de envases y empaques, establece que los planes colectivos de gestión ambiental deben obtener un puntaje igual o superior a los 110 puntos en número entero a partir de la siguiente ecuación:

$$TOTAL\ PUNTOS = \left(\frac{\%ALCANZADO}{\%META} \right) 100$$

Ecuación 1 Total puntaje planes colectivos de gestión ambiental.

La variable % Alcanzado es el porcentaje de aprovechamiento de residuos de envases y empaques y % meta corresponde al porcentaje anual de meta de aprovechamiento establecido desde 2021 hasta 2030 como se muestra en la siguiente tabla:

PERIODO DE EVALUACIÓN AÑO	INCREMENTO ANUAL (%META)	META DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS
2021	10%	10%
2022	2%	12%
2023	2%	14%
2024	2%	16%
2025	2%	18%
2026	2%	20%
2027	2%	22%
2028	2%	24%

2029	3%	27%
2030	3%	30%

Tabla 1 Meta de aprovechamiento de residuos, incremento anual en periodo de evaluación.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – Resolución 1407 de 2018.

6.2 Antecedentes Internacionales

Existe una preocupación por lograr este cambio sin empeorar la brecha de desarrollo y sustentabilidad entre los países desarrollados y subdesarrollados (North/South divide). Según Hofstetter et al. (2021), las economías circulares siguen siendo dominadas por aquellos países de altos ingresos. Ello a razón de que las empresas líderes a nivel global serán aquellas que podrán dar este paso y ello puede conllevar a que su poder de negociación se incremente. Patrick Schröder afirma que las medianas y pequeñas empresas tendrán más dificultades para adaptarse al cambio del modelo circular, dada la limitada capacidad de gestión para la recolección de residuos y la falta de recursos económicos para la financiación de equipos e infraestructura para la implementación de nuevos procesos. El investigador recomienda buscar la financiación de diferentes entes con el fin de aumentar la inversión en las cadenas de valor implementadas en aquellas empresas verdes y reducir los riesgos de inversión.

La pregunta más importante a responder es: “¿cómo puede una empresa desarrollar múltiples objetivos e iniciativas en evolución, que representan “estaciones” a lo largo del viaje, para avanzar hacia una economía circular?” y al mismo tiempo, encontrar la manera de incluir en el proceso a las demás partes involucradas como lo son los proveedores, los intermediarios y los consumidores. Por ejemplo, una compañía está interesada en reducir el impacto del plástico en el océano y trazó como objetivo que todos sus empaques sean de este plástico que ha sido reciclado. Sin embargo, es una meta que requiere de tiempo y planeación para poder alcanzarla. Este plástico del océano es un problema de salud pública debido a que se

descompone en micro partículas que los peces consumen y que al mismo tiempo consumen las personas al alimentarse de aquellos animales. Por otra parte, la empresa tiene que estructurar su cadena de suministro en donde debe cambiar de proveedor para obtener el plástico desechado en el océano.

La literatura y las investigaciones señalan que los mejores indicadores de medición de la adopción de la economía circular en empresas manufactureras son: “La planificación efectiva para la adopción de EC”, “La asignación presupuestal para los procesos de EC” y “el compromiso de la alta gerencia con el proceso de adopción” (Yadav et al., 2020). Sin embargo, estos indicadores deben ir acompañados de aquellos que le muestren a los comerciantes o empresarios sobre los beneficios económicos que obtienen. Las empresas manufactureras, debido a su naturaleza de tener cadenas de suministros, requiere que la cooperación de los proveedores y demás miembros sea medida en estos indicadores ya que, sin la voluntad de estos, no sería posible pasar de la economía lineal a la circular. Hay gran controversia sobre las ponderaciones o pesos que debe tener cada indicador y hasta algunos investigadores afirman que este es un punto que se encuentra en estado prematuro y requiere de más atención. Se afirma que BWM-DEMATEL es el mejor método para ponderar los indicadores, por encima de todos los métodos de toma de decisiones multicriterio (Yadav et al., 2020). Por último, pero no menos importante para la adopción de las prácticas de la economía circular, las empresas deben promover iniciativas como el rediseño, los empaque y las compras ecológicas.

Sverko, Z. et. al (2020) construyó varios modelos econométricos cuyas variables dependientes fueron el volumen de producción de residuos en determinado lugar y porcentajes de reciclaje de determinados productos o materiales. La variable independiente es el PIB. La construcción de este modelo se hizo con el fin de evaluar el nivel de afectación del desarrollo económico (PIB) en las variables de medición de la economía circular. La evidencia de este estudio mostró que es posible un crecimiento económico y la implementación de la economía

circular al mismo tiempo. Ello sin contar beneficios adicionales como la administración más eficiente y consciente de los recursos naturales garantizando su disponibilidad por más años. Las ganancias obtenidas de la transición a una economía circular para la Unión Europea en el sector manufacturero podrían ascender a 600 mil millones de euros, afirma la Comisión Europea. Está comprobado que el modelo lineal es insostenible, por ende, varios académicos y profesionales proponen el modelo circular como una solución sostenible al sistema de producción actual.

Hay pocas investigaciones dedicadas a obtener el impacto en el PIB tras la implementación del sistema circular en determinado territorio o país. Sverko, Z. et. al (2020) afirma que la contribución más significativa que tiene su investigación es esta. Se estima que el PIB de la Unión Europea puede incrementar en un 3,9% para el año 2030 con una administración eficiente de los recursos que permita un ahorro de las materias primas entre el 17% y el 24%. Desde 2015 la Unión Europea ha venido haciendo esfuerzos por tomar un modelo circular para su economía. En este año (2022) se creó la “Estrategia y Plan de Acción de Economía Circular” cuyo objetivo principal es reducir hasta eliminar los residuos. Entre otras medidas está destinar recursos económicos para acelerar esta transición y crear políticas como lo es la prohibición de plásticos de un solo uso. Los países de la Unión Europea junto a China y Japón son aquellos con más políticas amigables con el medio ambiente, pero al mismo tiempo, tienen los índices más altos de emisiones de gases de efecto invernadero.

China pronunció la Ley de la Promoción de la Economía Circular de 2009, en Alemania se impuso la Ley de Ciclo Cerrado de Sustancias y Gestión de Residuo, en Dinamarca se ha promovido el rediseño de empaques aplicando para todas las industrias. En ese sentido, los países miembros de la Unión Europea se han esforzado por acoplarse a la economía circular pero cada uno lo hace a su manera. Dada esta diversidad, la literatura dice que hay territorios que pueden acoplarse más fácil que otros al cambio de modelo debido a su contexto. Es decir,

en las zonas periféricas hay escasez de recursos y la oferta de materias primas tiende a ser más limitada, por lo que la obtención de productos reciclados puede resultar complicada y requiere de apoyo estatal para cerrar esta brecha entre las industrias de la zona central y aquellas descentralizadas.

China fue el primer país en publicar indicadores de evaluación de Economía circular donde actualmente se encuentran divididos en 2 conjuntos: uno para realizar un análisis a nivel nacional o macro y otros indicadores de evaluación de parques industriales (a nivel micro). Sin embargo, estos indicadores no poseen indicadores sociales lo cual es un desatino dada la estrecha relación entre el Desarrollo sostenible, el bienestar social y la Economía Circular. Algunos investigadores consideran que el Consejo Asesor de Ciencias de las Academias Europeas tiene una evaluación más robusta compuesta de 26 indicadores que se agrupan en desempeño económico, desarrollo sostenible, flujo de materias primas, medio ambiente, entre otros factores relevantes que definen la Economía Circular. Aunque se afirma que, hasta el momento, no se tiene un indicador compuesto capaz de evaluar la economía circular.

Silvestri, F.; Spigarelli, F.; Tassinari, M. (2020) realizó un estudio en el que se evalúa el desempeño estático y dinámico de la economía circular en los países de la Unión Europea. Los resultados le permitieron clasificar a los países en 4 grupos dados los 2 indicadores de evaluación que evidencian las diferencias en las velocidades de adopción del sistema de economía circular. El indicador estático evalúa la Economía Circular en un momento en específico del tiempo mientras el otro indicador puede indicarnos si hay avance, mejoras o retrocesos en la transición al sistema circular. El primero se basa en 3 dimensiones: ambiental, económico y sanitario. En ese sentido, los investigadores se empeñan en describir esas diferencias desde un análisis multidimensional.

Morea, D.; Mango, F.; Cardi, M.; Paccione, C.; Bittucci, L. (2022) define la Economía Circular como la reutilización de los desechos aplicado al sector secundario (transformación de la materia prima) y terciario (comercio - consumo). No obstante, es difícil tener una medición sobre el nivel de implementación del modelo circular en las empresas y por ende, uno de las limitantes identificadas por los investigadores es medir la rentabilidad de las acciones de las empresas con producción sostenible en el mercado bursátil. En ese sentido, la pregunta problema que se busca responder en esta investigación es “¿Muestra mejor desempeño financiero las empresas que implementan el modelo de economía circular? Los resultados muestran que el rendimiento de las acciones no se ve afectado por las prácticas del modelo de EC, dado el estudio a las empresas seleccionadas. En la investigación se comenta sobre la necesidad de crear un marco de medición estándar de las estrategias de Economía Circular en las empresas. A la fecha no se tiene claridad de cuáles serían los indicadores pertinentes para esta evaluación dado que no se ha definido los criterios multidimensionales que se deben contemplar.

A la fecha, existen varias investigaciones sobre la relación entre la EC y los mercados financieros que muestran reacciones positivas y negativas de los mercados bursátiles frente a un mejor desempeño de las empresas en la Economía Circular. Sin embargo, el efecto cambia dependiendo del área de desempeño de cada empresa. Por otra parte, hay que tener en cuenta otras variables en los precios de las acciones de estas empresas.

7

metodología

El DANE (2021) en su informe metodológico de Economía circular, sugiere instrumentos estadísticos asociados a la medición en la gestión sostenible de recursos o instrumentos que permitan tener información sobre: los residuos generados, los requerimientos en materias

primas, energía y la cantidad de empleo generado a partir de la implementación del modelo de Economía Circular.

El objetivo de este modelo económico circular es el aumento del material reciclado y devuelto a la cadena, de esa forma la generación de residuos es menor y así mismo se hace un menor uso de materia prima para la producción de bienes. Para determinar la tasa de uso de material circular se utiliza la relación de cociente entre las materias primas secundarias y el consumo total de materiales primarios:

$$\text{Tasa de uso material circular} = \frac{U}{(C + U)}$$

Ecuación 2 Tasa de uso de material circular.

U: Materias primas secundarias

C: consumo total del material.

Fuente para su cálculo: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/9407565/KS-FT-18-009-EN-N.pdf/b8efd42b-b1b8-41ea-aaa0-45e127ad2e3f?t=1543310039000>

La implementación de esta tasa de uso de material circular permitirá aportar información sobre la cantidad de llantas, pilas y bombillas consumidas y recicladas.

La variable U tomará los valores de las cantidades recolectadas y la variable C es el consumo de acuerdo a los datos suministrados para cada año. Es importante precisar que se realizará el ejercicio para cada tipo de información recolectada y proveniente de diferentes fuentes. Esta comparación también nos permite entrever la eficiencia en la recolección de estas materias primas usadas por parte del ANLA. Se aclara que los datos a usar son las cantidades validadas por las Autoridades Ambientales con fines de exactitud, más no la información

suministrada por productores, No obstante, en los últimos años, dicha brecha se ha reducido hasta tal punto de no ser tan significativa.

Esta tasa de uso de material circular se mide para los países que componen la Unión Europea. Allí se encontraron datos desde 2010 hasta la actualidad. En 2021. Para este caso en particular se encuentra que la tasa más alta registrada fue en Países Bajos con 33.8% de materias primas de segunda mano o secundarias recicladas para la producción de nuevos bienes. Es decir, se redujo la extracción de nuevos materiales dada la implementación de materias primas recicladas en los procesos de producción en la economía. El ideal es incrementar esta tasa que en otras palabras significa el incremento en la recolección y reciclaje de materias primas secundarias.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Circular_economy_-_material_flows#Circularity_rate

Por otra parte, esta tasa puede variar dependiendo el tipo de material que se quiera medir. Además, para una correcta interpretación de la tasa de uso de material circular es recomendable observar conjuntamente el flujo de los datos del uso circular de las materias primas y el consumo total de materiales primarios ya que un cambio en la tasa no necesariamente puede corresponder a un aumento en uso circular de las materias primas.

Caracterización de los residuos en Colombia

Según la base de datos actualizada el pasado 15 de julio del 2022, hay 8.260 puntos de recolección en el país, donde Antioquia, Valle del Cauca y Bogotá, son los departamentos que cuentan con una mayor cantidad de puntos. A continuación, la tabla de frecuencias en la que se muestra con más detalle lo mencionado:

Departamentos	Cantidad Puntos Recolección
Antioquia	2417
Atlántico	496
Bogotá	2540
Caldas	199
Cundinamarca	570
indefinido	389
Risaralda	309
Santander	310
Tolima	191
Valle del Cauca	839
Total general	8260

Tabla 2 Puntos de recolección por departamento

Fuente: Elaboración propia con datos abiertos, 2022.

Esta base de datos también nos indica los puntos de recolección según la categoría del residuo. En estos departamentos que ocupan los primeros puestos, hay una mayor oferta de recolección de pila con 1.976 en Antioquia, 1,118 en Bogotá, 373 en Valle del Cauca, 387 y 284 para Atlántico y Cundinamarca, respectivamente. La siguiente categoría con mayor oferta de puntos de recolección son las llantas donde Bogotá tiene cerca de 599 puestos, luego Valle del Cauca con 175 y Antioquia con 145.



Ilustración 8 Puntos de recolección según la categoría del residuo

Fuente: Elaboración propia con datos abiertos, 2022.

Se solicitó información a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) sobre los históricos anuales de bombillas, llantas y pilas recolectadas y reciclados en el mismo rango temporal; también por medio de la información pública del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) se recopiló información sobre el consumo anual de llantas, bombillas y pilas. Con la información suministrada se procedió a analizar cada una de las variables y su comportamiento a través del tiempo y después de ello, se procedió a hallar la tasa de uso de material circular de cada uno de los 3 residuos seleccionados para esta investigación.

El ANLA obtiene la información a partir de los reportes realizados por los productores al Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental para el periodo desde el 2012 al 2021 para los materiales de estudio, esto según la resolución 1297 del 2010 de los cuales nos

centraremos del 2017 hasta el 2021. Se halla que hay una tendencia creciente en las cantidades, no obstante, es importante comparar con el total de cantidades consumidas.

Según el informe de gestión presentado por parte de la Corporación Pilas con el Ambiente, en 2020 hubo afecciones en las operaciones de recolección dada la emergencia sanitaria (varios de los puntos de recolección se cerraron y se detuvo el transporte hacia las plantas de tratamientos de residuos) ocasionando el incumplimiento de metas propuestas para ese año.

Ahora bien, además de visualizar las cantidades recolectadas es importante generar un contraste de este dato respecto al consumo anual de cada uno de los materiales en el país. Por ello, a continuación, se presenta el contraste en mención. Lo anterior, con datos de la ANLA y el DANE para recolección y consumo respectivamente.

No obstante, cabe resaltar que el análisis que se muestra a continuación y los resultados de la investigación se genera en unidades dada que esta es la medida utilizada para el consumo de estos materiales por el DANE y la ANLA en unidades y toneladas.

Adicionalmente, es importante tener presente que, dada la duración de algunos de los materiales estudiados en este documento y el inicio de la aplicación de la resolución de recolección de residuos de los mismos, es posible que las cifras reportadas por la ANLA sean superiores al consumo mostrado por el DANE.

En el siguiente gráfico se expone la comparación entre el consumo y la recolección de llantas para el período de 2017 a 2021.

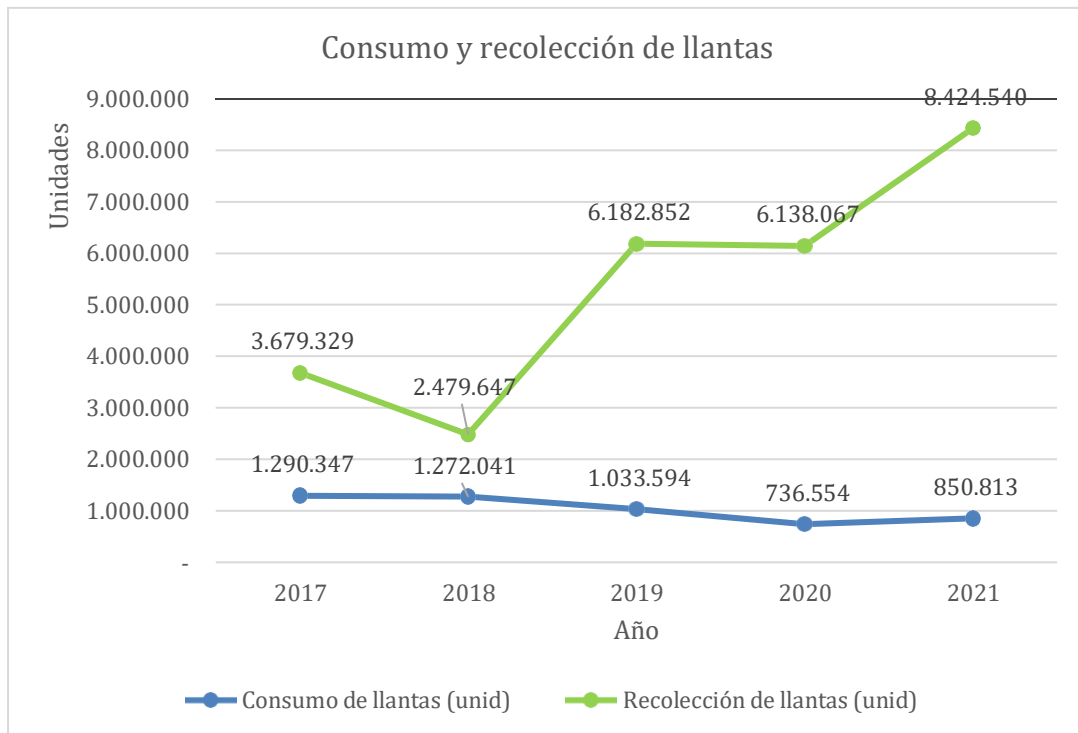


Ilustración 9 Consumo y recolección de llantas

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

De acuerdo con la información expuesta, se evidencia que el consumo de llantas ha disminuido durante los años aplicados a esta investigación. No obstante, la recolección de este material reportado por la ANLA, a excepción del 2018, ha mostrado un aumento significativo para posibilitar procesos de economía circular de estos residuos.

En el siguiente gráfico veremos la comparación entre el consumo y la recolección de bombillas para el período de 2017 a 2021.

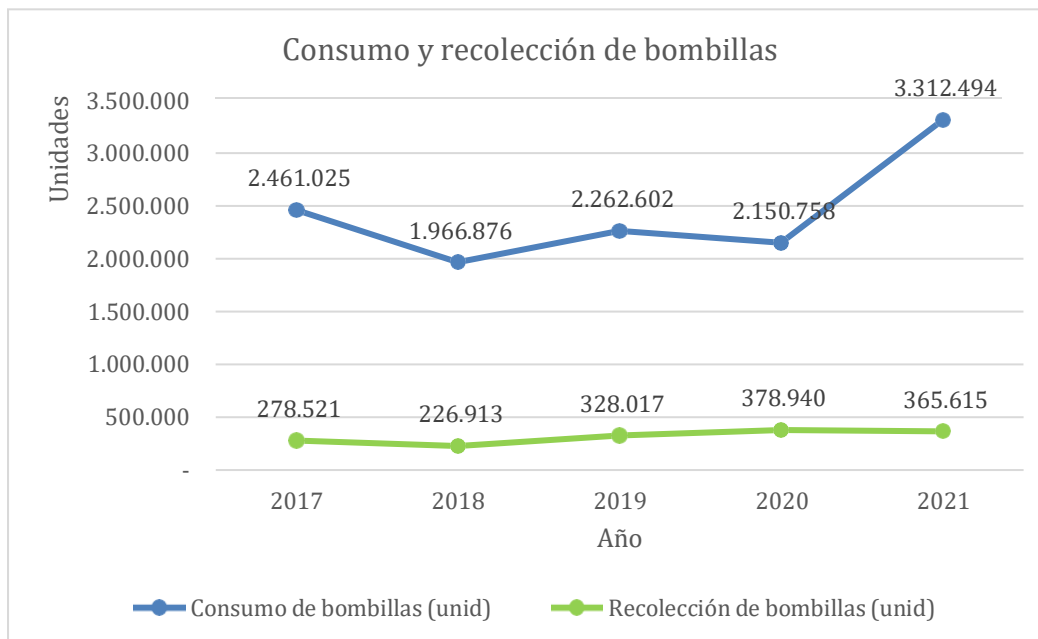


Ilustración 10 Consumo y recolección de bombillas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

En el caso de las bombillas, se evidencia un aumento significativo en el consumo entre el 2020 y el 2021. Sin embargo, es posible visualizar que los procesos de recolección son menos eficientes que el de las llantas. Dado que las cifras mostradas por la ANLA son relativamente constantes a lo largo del total del período estudiado y están en un rango menor que el del consumo anual del material.

Por última instancia, pero no menos importante, se analiza la gráfica de las pilas.

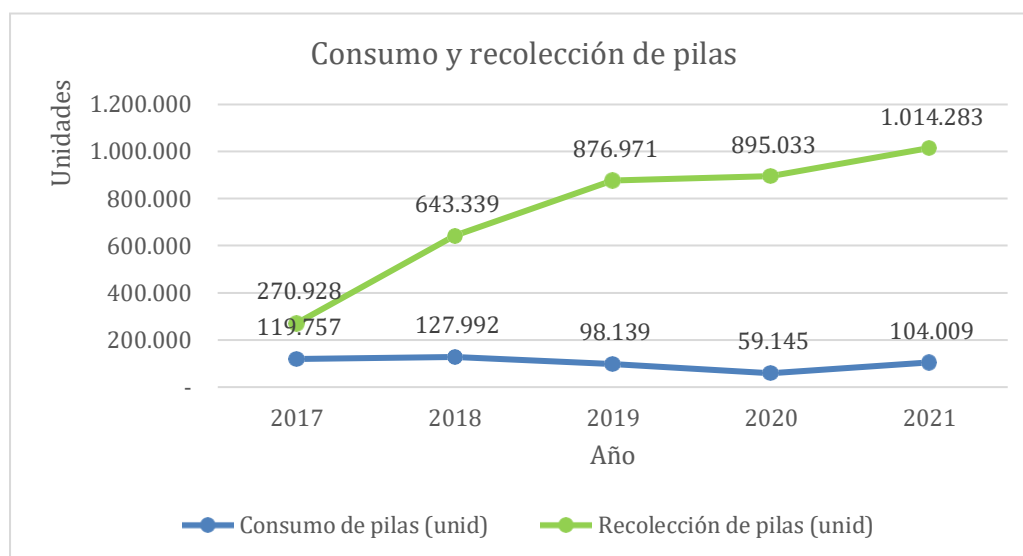


Ilustración 11 Consumo y recolección de pilas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

En cuanto a las pilas es notable la similitud con el caso de las llantas ya que en términos generales estas dos presentan una mayor cantidad de recolección de carácter ascendente durante el periodo de estudio respecto a la variable de consumo, la cual genera una disminución significativa de 38.994 unidades para el año 2020 a diferencia del año anterior.

8

Resultados

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la tasa de uso material circular del período 2017 al 2021 con el fin de concluir la eficiencia del sistema de recolección y reciclaje para la economía circular de bombillas, pilas y llantas en Colombia en el periodo estudiado.

Para el caso específico de las llantas, se calcula la tasa de uso material circular por medio de la respectiva ecuación con los valores reportados en unidades del consumo total del material y las cantidades recolectadas según las correspondientes entidades de información. De acuerdo con esto, se obtiene los siguientes valores.

Tasa de uso material circular de llantas					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Valor	74%	66%	86%	89%	91%

Tabla 3 Tasa de uso de material circular en llantas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE



Ilustración 12 Tasa de uso circular, consumo y recolección de llantas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

De acuerdo con la acotación sobre la diferencia entre las cifras de la duración del material y la recolección del mismo, se resalta que para la tasa de uso circular se utiliza un ajuste en el denominador de la ecuación para que la ratio de la tasa sea de 1% a 100%.

Con base en los resultados de la fórmula y de la gráfica expuesta, es posible afirmar que la tasa de uso circular de llantas a partir de la aplicación de la resolución 1297 del 2010 de la ANLA y en específico del 2017 al 2021 ha tenido un aumento significativo con una variación de 17%, pasando de 74% al 91% respecto al consumo y recolección de residuos del material.

En términos generales se obtiene una buena tasa de uso material circular de las llantas, esto gracias a políticas, proyectos y decretos implementados como el 442 del 2015, donde se prohíbe incurrir a prácticas de disposición final de las llantas como la quema de estas,

abandonarlas al aire libre o enterrarlas lo que genera emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Entidades como la ANDI, el ejército nacional, las alcaldías y secretaría de ambiente, están en pro de mejorar su recolección. Esto sin dejar atrás que no es suficiente ya que el daño que sufre el medio ambiente es alarmante. Se debe generar mayor conciencia, recurrir al reencauchado de llantas ya que esto genera hasta un 63% de reducción de desechos sólidos según el DANE. Debido al volumen de las llantas representa mayor tiempo de degradación lo que es indispensable un especial manejo a la hora de desecharlas.

En la siguiente tabla se refleja la tasa de uso material circular para el caso de las bombillas y en la gráfica se aprecia la variación de la tasa con respecto a las variables de consumo y recolección del material en mención para el periodo del 2017 al 2021.

Tasa de uso material circular de bombillas					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Valor	10%.	10%	13%	15%	10%

Tabla 4 Tasa de uso de material circular de bombillas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

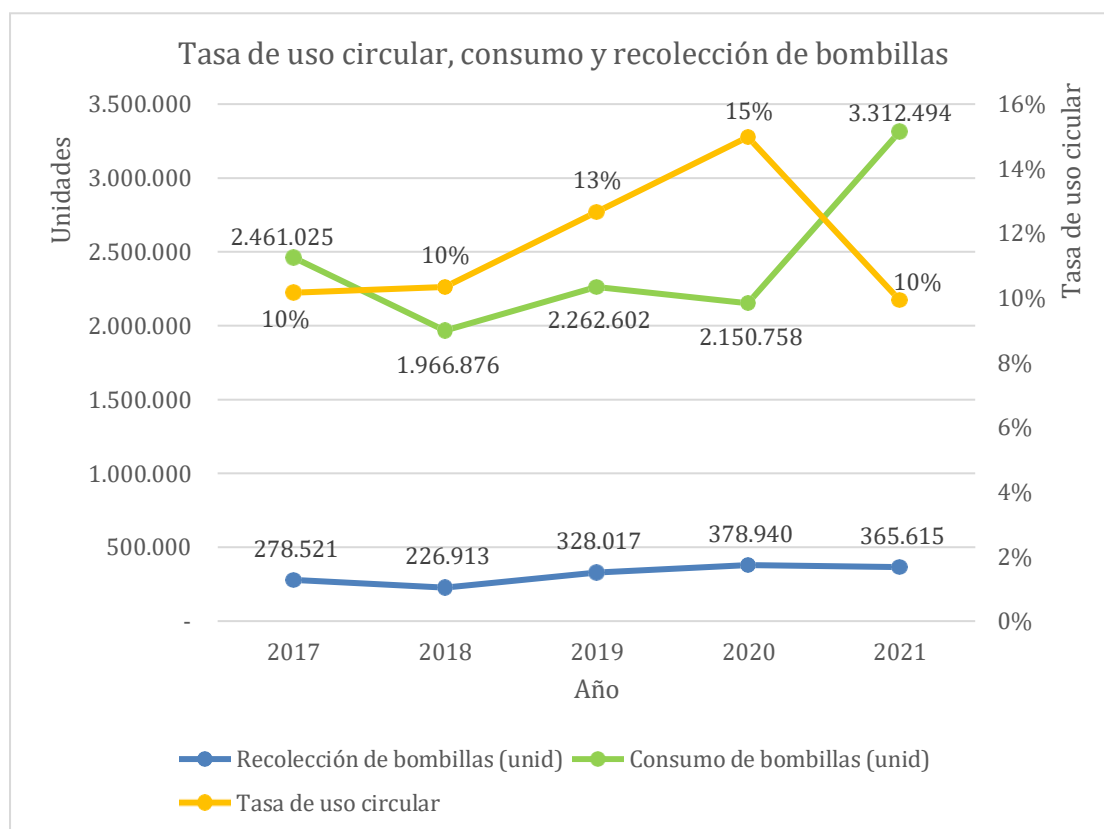


Ilustración 13 Tasa de uso circular, consumo y recolección de bombillas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

La tasa de uso circular de las bombillas mantiene un alza durante los años 2017 a 2020 presentando un valor máximo del 15% y luego para el periodo entre 2020 y 2021 se encuentra una baja hasta el 10%. Lo anterior mencionado, tiene relación con el representativo incremento del consumo en el último año y a su vez con la cantidad poca significativa de la recolección de este material. A pesar de esta disminución de la tasa se evidencia que el comportamiento general de la gráfica es relativamente constante con variaciones de poco impacto entre el 10% y el 15%.

Las bombillas son consideradas residuos peligrosos, su recolección debe ser especial ya que contiene mercurio lo que es perjudicial su inhalación para la salud, por tanto, no se debe desmontar. Es indispensable la implementación de mecanismos para dar a conocer al consumidor final sobre la forma adecuada y los lugares de recolección de este material, con

la finalidad de establecer la trazabilidad significativa en la tasa de uso circular del material en mención.

El material faltante en el análisis son las pilas, a continuación, podemos observar la tabla y la gráfica donde se encuentra la tasa de uso circular de este material durante el periodo de estudio.

Tasa de uso material circular en pilas					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Valor	69%	83%	90%	94%	91%

Tabla 5 Tasa de uso de material circular en pilas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

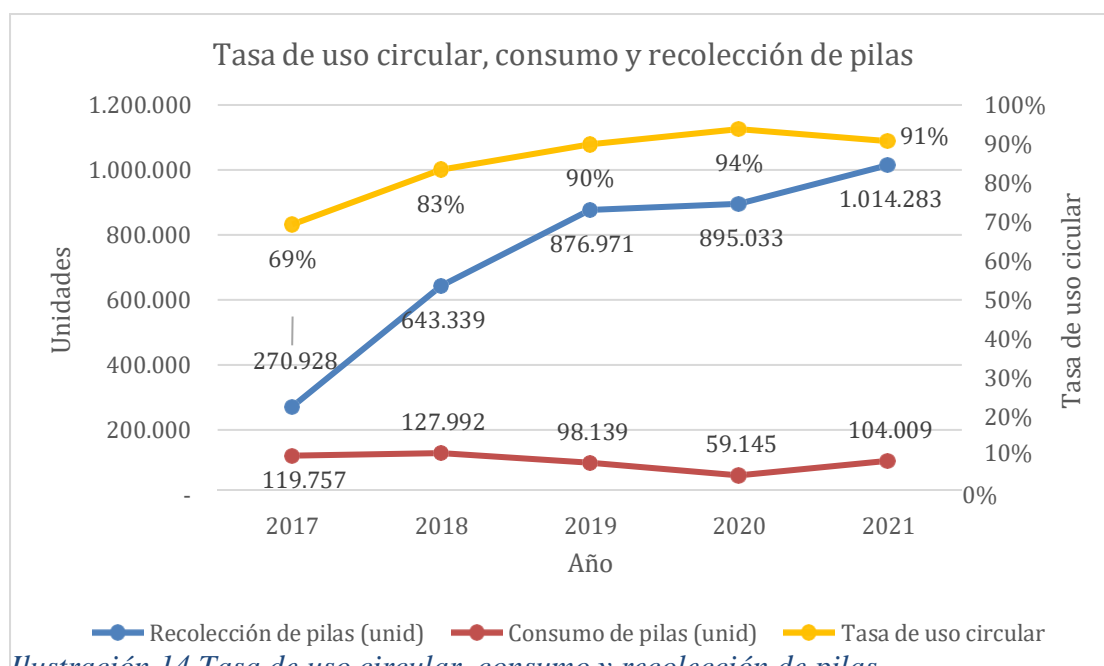


Ilustración 14 Tasa de uso circular, consumo y recolección de pilas

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

En primer lugar, la tasa mantuvo un aumento constante con un valor máximo del 94% en el año 2020 y una tasa mínima del 69% en el 2017. Este resultado en la tasa la cuál presenta unas variaciones positivas significativamente, tiene estrecha relación con las altas

cantidades recolectadas en cada año y las pocas representativas unidades de consumo en general, esto último, puede estar relacionado con el periodo promedio útil de una pila, que en promedio es de 4 años.

Podemos analizar que el alto aumento en la tasa de uso circular, está basado en las cantidades recolectadas y procesadas, disminuyendo de esta manera necesidad de extracción de materias primas para la creación de este tipo de producto, lo que a su vez trae consigo menor consumo. Dicho esto, la recolección de pilas representa un aumento en la concientización del pueblo colombiano con el reciclaje. Iniciativas como la de “Pilas con el ambiente” ha aportado a este indicador, la cual cuenta con diversos puntos de recolección en las diferentes ciudades del país, lugares de fácil acceso como colegios, universidades y centros comerciales.

Hoy en día se cuenta con diferentes iniciativas, en las diferentes ciudades, todas en pro de reducir la contaminación en el medio ambiente ya que estos residuos pueden afectar los recursos hídricos, el suelo y daños al sistema nervioso central. Y así lograr los objetivos trazados.

A continuación, podemos observar en la siguiente grafica la información recompilada de las 3 tasas correspondientes a pilas, llantas y bombillas.

Tasa de uso material circular por materiales					
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Llantas	74%	66%	86%	89%	91%
Bombillas	10%	10%	13%	15%	10%
Pilas	69%	83%	90%	94%	91%

Tabla 6 Tasa de uso de material circular por materiales.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

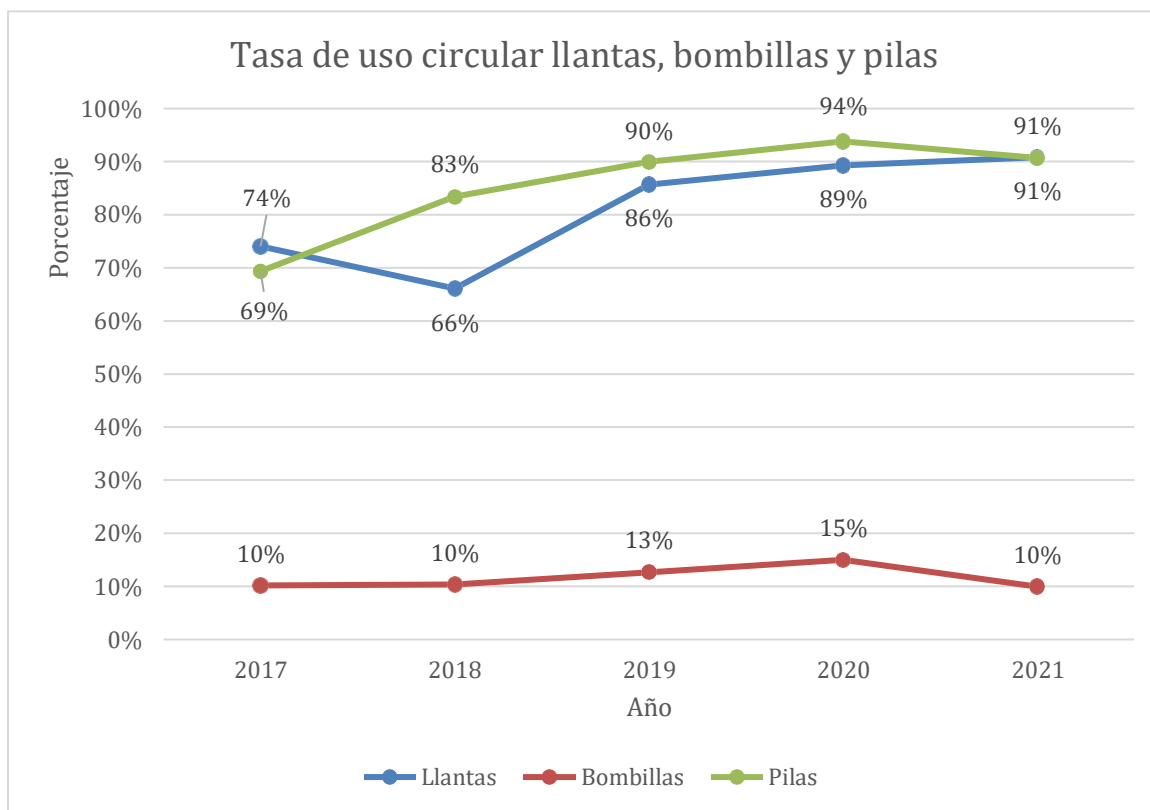


Ilustración 15 Tasa de uso circular de llantas, bombillas y pilas.

Fuente: Elaboración propia con datos del ANLA y el DANE

Se observa que las pilas fue el material con una mayor tasa de uso circular seguido de las llantas y finalizando con las bombillas. Lo que quiere decir que esta última es la que presenta la tasa de uso circular menos eficiente respecto a las otras dos variables. Cabe resaltar que para todas las tasas el pico máximo fue presentado en el año 2020, lo que puede ser asociado a los factores coyunturales, tal como las medidas de prevención aplicadas en el país para ese año.

9

Conclusiones y Recomendaciones

La economía circular es un modelo que ha ganado fuerza en los últimos años gracias a su gran aprovechamiento y por sus continuos procesos de recolección y reutilización de residuos causando un crecimiento económico, a su vez una reducción en la generación de desechos peligrosos nocivos para el ecosistema generando cambio climático, reducción de gases de

efecto invernadero entre otras. El modelo depende fundamentalmente de la concientización de los hogares y empresas con el proceso de recolección de productos y materia prima, esto se ve reflejado al realizar un estudio de las tasas de uso circular de material en donde se puede ver una relación entre la materia recolectada y la producida, observando la eficiencia del modelo.

De los resultados encontrados durante la investigación para el periodo del 2017 al 2021 con base a la tasa de uso circular de material para las llantas, pilas y bombillas los cuales son materiales altamente contaminantes para el ambiente y la salud humana, podemos observar que el material que presenta una menor eficiencia son las bombillas con respecto a las llantas y pilas, debido a la baja recolección del residuo de este. Por tal motivo, se considera necesario la implementación de políticas e iniciativas que informen, incentiven y concienticen tanto a los hogares como a las empresas a realizar el debido proceso de recolección de estos desechos, para posibilitar una mejora en el uso de la economía circular.

La tasa de uso circular de llantas y pilas cuentan con una significativa tasa creciente de uso circular del material, lo que hace a este sistema de materiales más eficiente, sin embargo, es indispensable continuar con estrategias, puntos de recolección y control en los registros de los desechos para mejorar la brecha de información, ya que una considerable parte se realiza de manera no certificada, lo que hace que no se tengan en cuenta en los registros finales brindados por las entidades responsables de este tipo de información.

Por otra parte, durante el desarrollo de este proyecto se considera una mejora al acceso de la información, la estandarización y el acceso a esta, para facilitar el desarrollo. Adicionalmente, mejorar la publicación de los datos con más detalles como unidades de medida, grupos, materiales individuales, disponibilidad, la calidad en los datos de las variables y un estudio continuo en los años.

10

Referencias

Acoplásticos. (2019). 200 Empresas de Bogotá Reciclan y Transforman Cerca de 110 mil Toneladas de Plástico Post Consumo al Año.

Algarra, J. (2015). La importancia de los programas pos consumo en el sistema de gestión ambiental del sector automotriz. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.

Disponible en:

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/14396/AlgarraGaleanoJoseMauricio2014.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cayzer, S.; Griffiths, P.; Beghetto, V. Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. *Int. J. Sustain. Eng.* 2017, 10, 289–298.

Collazos, J y Cifuentes, A. (2018). El impacto en el medio ambiente tras el posconsumo de pilas domésticas. Universidad ICESI. Cali. Disponible en:

https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/85043/1/TG02095.pdf

Cuellar, Y. (2021). Lineamientos para la construcción del plan de gestión de residuos de envases y empaques posconsumo generados por la botella activo 100 gramos de la empresa ECSI SAS basados en los requerimientos de la resolución 1407 del 2018. Universidad El Bosque. Bogotá.

DANE, (2021). Censo Económico de Colombia. Documento metodológico: Economía Circular. DSO-CE-DTE-008 Versión 1. Disponible en:

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/censo-economico/info-metodologica/CE-documento-metodologico-economia-circular.pdf>

DANE (2022). Economía Circular: Quinto reporte 2022. Bogotá. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular/economia-circular-historicos>

DANE (2022a). Economía Circular: Sexto reporte 2022. Bogotá. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular/reportes-de-economia-circular#:~:text=Sexto%20reporte%20de%20Econom%C3%ADa%20Circular&text=Esta%20versi%C3%B3n%20tambi%C3%A9n%20incluye%205,y%20de%20emisiones%20al%20aire\).](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular/reportes-de-economia-circular#:~:text=Sexto%20reporte%20de%20Econom%C3%ADa%20Circular&text=Esta%20versi%C3%B3n%20tambi%C3%A9n%20incluye%205,y%20de%20emisiones%20al%20aire).)

DNP (2018). Política de Crecimiento Verde. Documento CONPES 3934 de 2018. Resumen ejecutivo. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Pol%C3%ADtica%20CONPES%203934/Resumen%20Pol%C3%ADtica%20de%20Crecimiento%20Verde%20-%20diagramaci%C3%B3n%20FINAL.pdf>

Gobierno de la República de Colombia, 2019. Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Bogotá D.C., Colombia. Presidencia de la República; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Gobierno de España, Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad social, INSST (Instituto Nacional de Seguridad y salud en el trabajo), (2018). DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+116++Di%C3%B3xido+de+nitr%C3%B3geno++A%C3%B1o+2018.pdf/b295ec76-11fc-43fb-9834-31e8336d99bc>

Hofstetter1 et. al., 2021. From Sustainable Global Value Chains to Circular Economy—
Different Silos, Different Perspectives, but Many Opportunities to Build Bridges. 1:21–47.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00015-2>

MinAmbiente, MinComercio. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular.
Disponible en:
https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2021. Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo Uso / Presidencia de la República de Colombia; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana: textos: Ramírez Rodríguez, Carlos Jairo; Breukers, Linda; cord. Saer Saker, Alex José. -- Bogotá D.C.: Colombia. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/plan-nacional-para-la-gestion-sostenible-de-plasticos-un-solo-uso-minambiente.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2022). Política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos y Plan de Acción 2022-2030. Bogotá. Disponible en: https://www.andi.com.co/Uploads/Nueva%20Pol%C3%ADtica_Ambiental_RESPEL%2022-2030.pdf

Morea, D.; Mango, F.; Cardi, M.; Paccione, C.; Bittucci, L. Circular Economy Impact Analysis on Stock Performances: An Empirical Comparison with the Euro Stoxx 50® ESG Index. Sustainability 2022, 14, 843. <https://doi.org/10.3390/su14020843>

Negri, M.; Neri, A.; Cagno, E.; Monfardini, G. Circular Economy Performance Measurement in Manufacturing Firms: A Systematic Literature Review with Insights for Small

and Medium Enterprises and New Adopters. *Sustainability* 2021, 13, 9049.
<https://doi.org/10.3390/su13169049>

Ortiz Hermida, J. S. (2019). Modelos empresariales de Economía Circular en pymes de Cali. Santiago de Cali: Universidad ICESI.

Robertson-Fall, T. (2021). A circular economy for batteries to underpin renewable energy growth. Ellen MacArthur Foundation. Disponible en: <https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/a-circular-economy-for-batteries-to-underpin-renewable-energy-growth>

Romero y Carvajalino (2020). Impacto de la economía circular en los objetivos de desarrollo sostenible: análisis de organizaciones adheridas al Pacto Global Red Colombia de las Naciones Unidas. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10340/RomeroFelipe2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Serna, E. (2022) Ingeniería y desarrollo en la nueva era – Primera edición -- Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación. ISBN: 978-628-95135-5-4

Silvestri, F.; Spigarelli, F.; Tassinari, M. (2020). Regional Development of Circular Economy in the European Union: A Multidimensional Analysis. *J. Clean. Prod.* 2020, 255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120218>

Sverko, Z.; et al. (2020). Circular Economy Concept in the Context of Economic Development in EU Countries. Faculty of Tourism and Hospitality Management, University of Rijeka, Primorska 42, 51410 Opatija, Croatia; marikn@fthm.hr (M.K.N.); elenar@fthm.hr (E.R.).

Vahos, A y Suárez, L. (2022). Los créditos de plástico como una herramienta para fortalecer el aprovechamiento de los plásticos en Colombia. Universidad Externado de Colombia. Bogotá.

Yadav, G.; Mangla, S.K.; Bhattacharya, A.; Luthra, S. Exploring indicators of circular economy adoption framework through a hybrid decision support approach. *J. Clean. Prod.* 2020, 277, 124186