



INGENIERIA AMBIENTAL
ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DEL
PLÁSTICO PET EN MANIZALES: EVALUACIÓN DE
IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS PARA
SU GESTIÓN SOSTENIBLE MEDIANTE LA
ECONOMÍA CIRCULAR

JUAN MANUEL PARRA GARCIA
MARTIN ZULUAGA ECHEVERRY



Universidad[®]
Católica
de Manizales

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

Obra de Iglesia
de la Congregación



Hermanas de la Caridad
Dominicanas de La Presentación
de la Santísima Virgen

ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DEL PLÁSTICO PET EN MANIZALES:
EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y ESTRATEGIAS PARA SU GESTIÓN
SOSTENIBLE MEDIANTE LA ECONOMÍA CIRCULAR

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIEROS AMBIENTALES

PRESENTADO POR:

JUAN MANUEL PARRA GARCIA & MARTIN ZULUAGA ECHEVERRY

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO:

JAVIER MAURICIO NARANJO VASCO¹
Ingeniero Químico

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

2024

¹ <https://orcid.org/0000-0001-9806-4878>

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a nosotros mismos, que en algún momento dudamos de nuestra capacidad para graduarnos de la universidad. Aprendimos que, aunque el camino puede ser difícil, con esfuerzo, dedicación y perseverancia, todo es posible. Este trabajo no es solo una prueba de nuestra capacidad académica, sino también un recordatorio de que podemos superar cualquier obstáculo que se presente en nuestro camino.

También va dedicado a todas aquellas personas que alguna vez dudaron de nosotros. A las que nos dijeron que no podríamos lograrlo, a las que pensaron que no estábamos lo suficientemente preparados o que simplemente no estábamos hechos para esto. Gracias por ser nuestra motivación para demostrar que estaban equivocados.

CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
ANTECEDENTES	13
OBJETIVOS	24
OBJETIVO GENERAL	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
METODOLOGÍA	25
OBJETIVO #1	28
“IDENTIFICACIÓN Y ANALISIS DE LOS ACTORES DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PLÁSTICOS TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”	28
➤ CONTEXTO NACIONAL	35
➤ CONTEXTO DEPARTAMENTAL	36
➤ CONTEXTO MUNICIPAL	37
➤ INICIATIVAS SOSTENIBLES	38
OBJETIVO #2	40
“ANÁLISIS NORMATIVO FRENTE LA PRODUCCIÓN, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL PLÁSTICO TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”	40
OBJETIVO #3	48
“PROPOSICION DE DIFERENTES ESTRATEGIAS FRENTE A LA CADENA DE VALOR DEL PLÁSTICO TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR”	48
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXO	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de vida del Plástico PET.....	8
Figura 2 Producción mundial de residuos plásticos.....	11
Figura 3 Cadena de Valor del PET.....	13
Figura 4 Jerarquía de la GIRS.....	14
Figura 5 Metodología de Investigación.....	25
Figura 6 Economía Circular PET Manizales.....	31
Figura 7 Categorización de residuos.....	35
Figura 8 Caracterización Residuos Manizales.....	37
Figura 9 Mapa Calor.....	41
Figura 10 Resumen Matriz de Requisitos.....	47
Figura 11 Propuesta de cadena de valor.....	49
Figura 12 Diagrama de PERT Propuesta.....	50
Figura 13 Ciclo de Vida Latas.....	61
Figura 14 Ciclo de Vida Bioplástico.....	61
Figura 15 Ciclo de Vida Tetra Pak.....	62
Figura 16 Ciclo de Vida Vidrio.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Leyenda Figura 6.....	30
Tabla 2 Actores, Roles y Responsabilidades Manizales.....	33

RESUMEN

El plástico tereftalato de polietileno (PET) es un material ampliamente utilizado en todo el mundo debido a sus propiedades físicas y químicas únicas. Sin embargo, su uso masivo ha llevado a un aumento significativo en la generación de residuos plásticos, que se convierten en uno de los principales problemas ambientales globales. La producción de tereftalato de polietileno (PET) y su posconsumo genera diversos impactos negativos en el medio ambiente, como la contaminación del aire, agua y suelo, así como la afectación de la biodiversidad y la salud humana.

En Colombia, la producción y consumo de plástico tereftalato de polietileno (PET) se ha incrementado en las últimas décadas, y aunque existen algunas iniciativas para su gestión adecuada, aún hay muchos desafíos que enfrentar en términos de recolección y reciclaje. En la ciudad de Manizales, como en otras ciudades del país, la gestión de residuos plásticos sigue siendo una problemática importante debido a la falta de infraestructura y tecnología adecuada.

Nuestro proyecto busca evaluar la implementación de la economía circular como una solución a esta problemática. Esto implicaría un cambio en la forma en que se producen, consumen y gestionan los residuos, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la reducción en el consumo de materias primas. Algunas iniciativas en esta dirección incluyen el desarrollo de políticas públicas, la promoción de la educación y conciencia ciudadana, y el fomento de la innovación en el sector empresarial para la generación de productos y servicios sostenibles.

La gestión adecuada del plástico tereftalato de polietileno (PET) es un desafío global que requiere la implementación de políticas y estrategias integrales, así como la participación de diversos actores sociales. La implementación de una economía circular puede ayudar a reducir significativamente los impactos ambientales del plástico y generar nuevas oportunidades.

ABSTRACT

Tereftalato de polietileno (PET) plastic is a widely used material worldwide due to its unique physical and chemical properties. However, its massive use has led to a significant increase in the generation of plastic waste, which has become one of the main global environmental problems. PET production and post-consumption generate various negative impacts on the environment, such as air, water, and soil pollution, as well as the impact on biodiversity and human health.

In Colombia, the production and consumption of tereftalato de polietileno (PET) plastic has increased in recent decades, and although there are some initiatives for proper management, there are still many challenges to face in terms of collection and recycling. In the city of Manizales, like in other cities in the country, plastic waste management remains an important problem due to the lack of adequate infrastructure and technology.

Our project aims to evaluate the implementation of the circular economy as a solution to this problem. This would involve a change in the way waste is produced, consumed, and managed, promoting reuse, recycling, and reducing the consumption of raw materials. Some initiatives in this direction include the development of public policies, the promotion of education and citizen awareness, and the promotion of innovation in the business sector for the generation of sustainable products and services.

The proper management of tereftalato de polietileno (PET) plastic is a global challenge that requires the implementation of comprehensive policies and strategies, as well as the participation of various social actors. The implementation of a circular economy can significantly help reduce the environmental impacts of plastic and generate new sustainable economic opportunities.

INTRODUCCIÓN

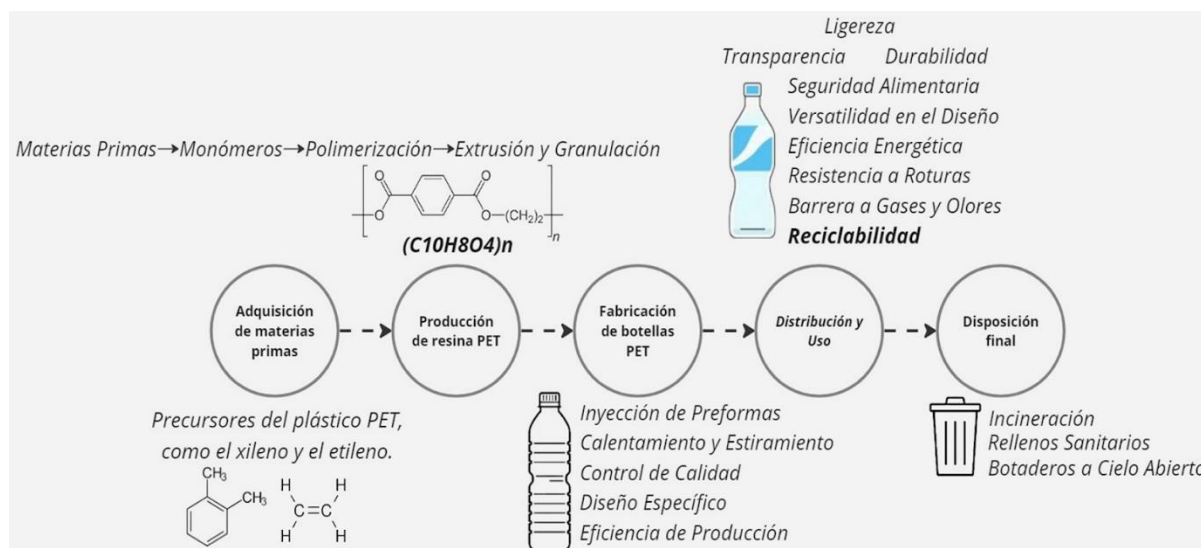


Figura 1 Ciclo de vida del Plástico PET. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

El plástico tereftalato de polietileno (PET), es un material ampliamente utilizado en todo el mundo debido a sus propiedades físicas y químicas únicas. Es un plástico ligero, resistente, transparente y fácil de moldear, lo que lo hace ideal para una amplia variedad de aplicaciones, desde botellas de bebidas hasta fibras textiles. Sin embargo, su uso masivo ha llevado a un aumento significativo en la generación de residuos plásticos, que se convierten en uno de los principales problemas ambientales globales.

La producción de tereftalato de polietileno (PET) comienza con la extracción de materias primas derivadas del petróleo, como el xileno y el etileno, que se refinan para obtener los monómeros necesarios. Estos monómeros se someten luego a procesos de polimerización para formar las cadenas de polímero de resina PET, que se extruye y granula para su posterior distribución a los fabricantes. Una vez en manos de los fabricantes, la resina PET se convierte en una amplia variedad de productos, desde envases de bebidas y alimentos, hasta textiles y

componentes para la industria automotriz, su posconsumo genera diversos impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana. Es fundamental reducir los residuos plásticos porque se ha convertido en una amenaza global ya que tarda siglos en degradarse y cuando no se dispone adecuadamente, contamina el aire, el agua y el suelo. Además, afecta negativamente la biodiversidad y pone en riesgo la vida de miles de especies animales, marinas y terrestres.

En el caso específico del plástico tereftalato de polietileno (PET), la implementación de una economía circular a través de la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) puede disminuir significativamente sus impactos ambientales y es clave para abordar esta problemática, ya que busca una gestión adecuada de los residuos desde su generación hasta su disposición final. La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) implica la implementación de políticas públicas, estrategias y acciones en materia de reducción, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos.

En este proyecto, llevamos a cabo un análisis del plástico tereftalato de polietileno (PET) en Manizales, evaluando sus impactos ambientales, características sociales, culturales, políticas y económicas desde su generación como producto hasta su disposición final. Asimismo, se exploraron las posibilidades de implementar una economía circular en la ciudad para reducir los residuos plásticos y sus impactos ambientales.

El lector podrá encontrar en este proyecto una revisión de literatura relacionada con el plástico tereftalato de polietileno (PET) y su gestión en el contexto internacional, nacional y regional. Además, se presentaron los resultados de una investigación de campo llevada a cabo en

Manizales con el CUBO R3, que incluye la evaluación de la situación actual de la gestión de residuos plásticos en la ciudad, así como las posibilidades de implementar una economía circular en la región. Finalmente, se propondrán recomendaciones y estrategias específicas para la implementación de una economía circular en Manizales, que puedan contribuir a la reducción de los residuos plásticos y sus impactos ambientales, y generar oportunidades económicas sostenibles en la región.

Además, el presente proyecto de grado tuvo como objetivo principal, analizar la cadena de valor del plástico tereftalato de polietileno (PET) en Manizales, analizando sus impactos ambientales y proponiendo estrategias para su gestión sostenible mediante la economía circular. La realización de este estudio es de gran importancia por varias razones.

En primer lugar, el plástico tereftalato de polietileno (PET) es uno de los materiales más utilizados en la actualidad debido a sus propiedades físicas y químicas, lo que ha llevado a un aumento significativo en su producción y consumo en todo el mundo. Sin embargo, el mal manejo de este material ha generado graves problemas ambientales, como la contaminación de ríos y mares, la degradación del suelo, la afectación a la fauna y flora, entre otros. En Manizales, la situación no es diferente, ya que el plástico PET representa una gran proporción de los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad, lo que ha llevado a una problemática ambiental significativa.

En segundo lugar, la implementación de una economía circular en Manizales es de gran importancia para la gestión sostenible del PET. Una economía circular busca reducir al mínimo

la generación de residuos y maximizar la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales y energía. En este sentido, la implementación de una economía circular en Manizales podría ser una estrategia clave para la gestión sostenible del plástico PET y para reducir sus impactos ambientales.

En tercer lugar, la realización de este estudio es importante porque puede generar información valiosa sobre la cadena de valor del plástico PET en Manizales y sobre las prácticas actuales de gestión de este material. La información generada puede ser utilizada por empresas, autoridades locales y otros actores involucrados en la gestión del plástico PET para mejorar sus prácticas y avanzar hacia una gestión sostenible de este material.

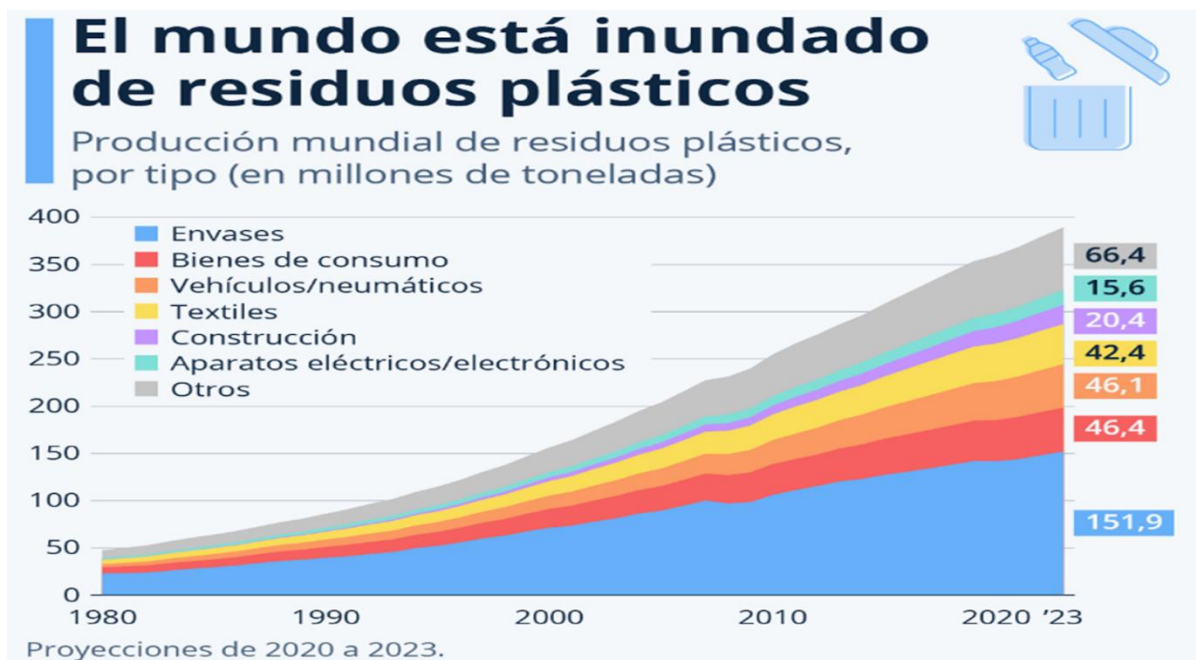


Figura 2 Producción mundial de residuos plásticos. Fuente: OCDE. 2020.

Los residuos plásticos, especialmente los envases, representan una de las mayores amenazas para el medio ambiente en comparación con otros tipos de residuos. La imagen

analizada muestra un aumento alarmante en la producción de residuos de envases plásticos, superando significativamente a otras categorías como bienes de consumo, vehículos/neumáticos, textiles, construcción y aparatos eléctricos/electrónicos. Este predominio no solo refleja la gran cantidad de envases que se desechan diariamente sino también la dificultad de reciclar este tipo de material, lo que contribuye a su acumulación en vertederos y océanos, causando daños irreparables a los ecosistemas y la biodiversidad. Por lo tanto, es imperativo tomar medidas para reducir la producción y el consumo de envases plásticos y fomentar alternativas sostenibles.

En cuanto a las implicaciones a la salud del plástico PET, se ha comprobado que esta sustancia puede afectar la vida sexual y reproductiva de los seres humanos, como el crecimiento de próstata o deficiencia en el número de cromosomas en el óvulo; es también relacionado con la obesidad y el cáncer de mama. Además, la boquilla de las botellas de PET son prácticamente un criadero de bacterias. Los resultados de un estudio mostraron que las botellas que se habían rellenado contenían más de 900.000 unidades de bacterias. La falta de higiene en las manos, el mantener el agua a temperatura ambiente o el no lavar continuamente las botellas, son un factor clave para que las bacterias se acumulen en los envases. Un dato importante es que la mayoría de las bacterias que se acumulan en estas botellas anidan en nuestra boca, por ello es importante tener el mayor cuidado posible al momento de utilizar estos envases y aún mas a la hora de hacer la adecuada disposición final.

ANTECEDENTES

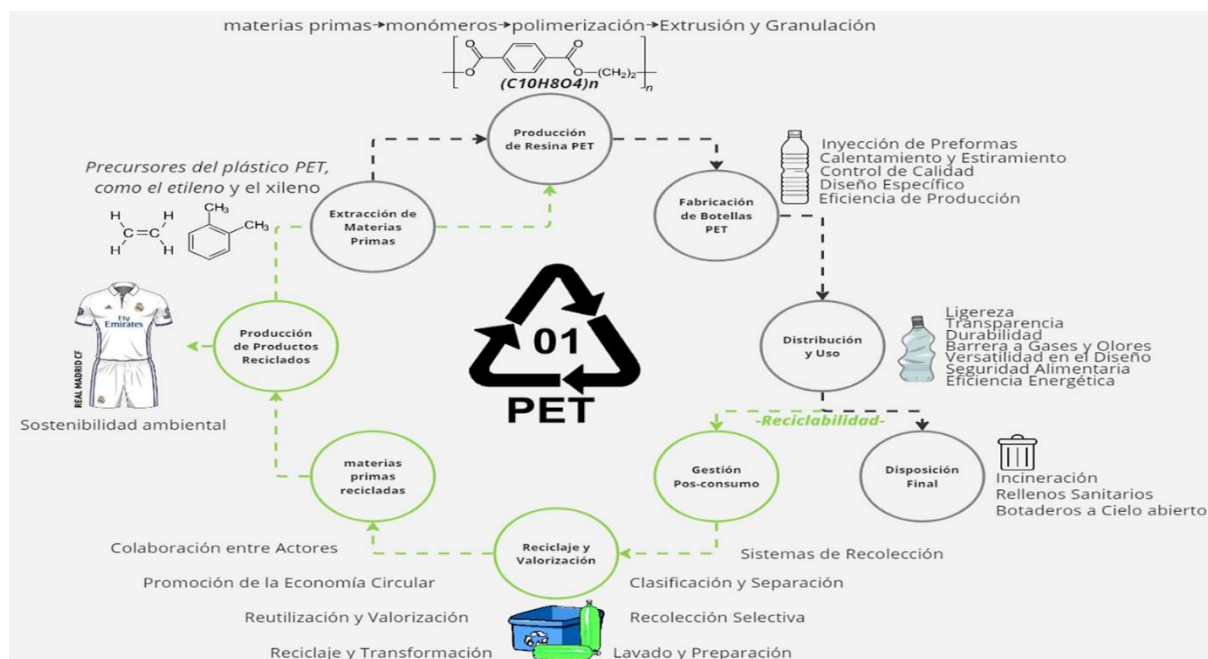


Figura 3 Cadena de Valor del PET. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

La cadena de valor, en el contexto de la economía circular, “se refiere al conjunto de actividades interrelacionadas que añaden valor a un producto desde su fase inicial de producción hasta su disposición final, teniendo en cuenta la minimización de residuos y la maximización de la eficiencia en el uso de recursos” (Geng et al., 2017). En otras palabras, abarca todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas hasta su reincorporación en el sistema productivo como nuevos recursos o productos. Según Elkington (2018), “la cadena de valor en la economía circular se caracteriza por la integración de principios como la reutilización, el reciclaje y el diseño sostenible, que buscan reducir la dependencia de los recursos naturales y minimizar la generación de residuos”. Esto implica la reconfiguración de los flujos de materiales y la colaboración entre diferentes actores a lo largo de la cadena, desde los fabricantes hasta los consumidores y los gestores de residuos. Por esto, cuando hablamos de el ciclo de vida del PET, dentro del marco de la economía circular, se describe las etapas desde la

extracción de materias primas para su producción hasta su disposición final. “En este ciclo, se busca maximizar la eficiencia en el uso de recursos y minimizar los impactos ambientales mediante la reutilización, el reciclaje y el diseño sostenible” (Jambeck et al., 2015).

Según Andrady (2015), “el ciclo de vida del PET incluye la extracción de petróleo como materia prima, seguida de la fabricación de preformas y botellas PET, su uso como envases en productos comerciales, la recolección y reciclaje de los envases utilizados, y finalmente, la reincorporación del material reciclado en nuevos productos o envases”.

“La economía circular promueve una visión holística de la cadena de valor, donde se busca optimizar la eficiencia de los recursos y maximizar el valor agregado en cada etapa del proceso” (Kirchherr et al., 2017). Esto implica una transición hacia modelos de negocio más circulares, donde los productos se diseñen teniendo en cuenta su vida útil completa y se fomente la reutilización, el reciclaje y la remanufactura.



Figura 4 Jerarquía de la GIRS. Fuente: PGIRS Manizales. 2019.

La Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) es una estrategia esencial para abordar la problemática de los residuos plásticos. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, la GIRS es el conjunto de actividades y procedimientos necesarios para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos generados en una comunidad. Además, la GIRS implica la implementación de políticas públicas, estrategias y acciones en materia de reducción, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos.

La economía circular es una estrategia que se basa en el diseño de productos y procesos que permiten la reutilización y reciclaje de los materiales y la minimización de los residuos, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y generar oportunidades de económicas sostenibles. Según la Fundación Ellen MacArthur, la economía circular busca "restaurar y regenerar, y no simplemente reducir, el capital natural, y optimizar el uso de los recursos".

En el contexto de la ciudad de Manizales, Colombia, se han implementado diversas estrategias y políticas para la gestión integral de residuos sólidos y la promoción de la economía circular. En el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Manizales se establecen objetivos y estrategias específicas para la reducción, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos, así como la promoción de la economía circular en la región.

En la literatura científica, se han abordado diversos aspectos relacionados con el plástico PET y su gestión en el contexto internacional, nacional y regional. Por ejemplo, según un estudio realizado por Gupta y Paliwal (2017), "la producción de PET a nivel mundial alcanzó los 30 millones de toneladas en 2015, y se espera que esta cifra siga aumentando en los próximos años", por otro lado, Geyer et al. (2017), "desde que comenzó la producción a gran escala de plásticos

en la década de 1950, se han generado más de 8.3 mil millones de toneladas de plástico en todo el mundo”. Asimismo, los autores señalan que se espera que para el año 2050, la cantidad de plástico producido en un año alcance los 1.124 millones de toneladas.

De igual manera, el equivalente estudio, realizado por Gupta y Paliwal (2017), señala que el reciclaje de PET es una estrategia clave para reducir su impacto ambiental y que se han desarrollado diversas tecnologías para mejorar la eficiencia del proceso de reciclaje. El problema principal con los plásticos no radica en su existencia, sino en la gestión inadecuada que se hace de ellos después de su consumo. La falta de sistemas eficientes de recogida, clasificación y reciclaje, junto con una cultura de desecho inmediato, resulta en que grandes cantidades de plástico terminen en vertederos o en el medio ambiente, causando contaminación y daños a la vida silvestre. "La responsabilidad extendida del productor (REP) es un concepto que busca abordar este problema, obligando a los fabricantes e importadores a organizar y financiar la gestión de los residuos de sus productos"(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Este enfoque no solo promueve la recuperación y el reciclaje de los plásticos posconsumo, sino que también incentiva la innovación hacia materiales más sostenibles y prácticas de producción más responsables.

➤ **Artículos Científicos Relacionados con la Temática.**

Existen diversos artículos científicos que abordan la temática de la economía circular. Por ejemplo, el artículo “La Economía Circular como eje de desarrollo de los países” discute la circularidad, problemas y retos pendientes de las economías latinoamericanas. Otro artículo titulado “Economía circular como base de la sustentabilidad empresarial” aborda la economía

circular en minería, con un caso de estudio sobre la producción minera de Concentrados de Pb-Ag-Zn en Bolivia. Además, el artículo “La Economía Circular Como Factor De Desarrollo Sustentable” proporciona una visión general de la economía circular y su impacto en el desarrollo sostenible.

➤ **¿Qué es la Economía Circular?**

La economía circular es un modelo de producción y consumo que garantiza un crecimiento sostenible en el tiempo. Promueve la optimización de recursos, la reducción en el consumo de materias primas y el aprovechamiento de los residuos, reciclándolos o dándoles una nueva vida. Según la Fundación Ellen MacArthur, la economía circular busca "restaurar y regenerar, y no simplemente reducir, el capital natural, y optimizar el uso de los recursos".

➤ **Importancia de la Economía Circular.**

La economía circular es importante porque su principal objetivo es tener un efecto positivo en el ecosistema y contrarrestar la sobrecarga y la explotación del medio ambiente y sus recursos. En resumen, es crecer económicamente sin deteriorar el medio ambiente ni agotar los recursos naturales con vías a la reutilización y maximización de estos y la minimización del desperdicio. El concepto de Economía Circular (EC) se ha convertido en un concepto cada vez más prometedor y defensor, que busca un cambio transformador hacia un futuro más sostenible.

➤ **Estrategias de Economía Circular en Colombia, Caldas y Manizales.**

La Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) es una iniciativa del gobierno colombiano que busca repensar nuestro modelo de desarrollo. Esta estrategia se alinea con la

propuesta del Plan Nacional de Desarrollo “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”. La ENEC prioriza 6 flujos de materiales que son de gran importancia para el país: materiales industriales y productos de consumo masivo, envases y empaques, biomasa, fuentes y flujos de energía, agua y materiales de construcción. Además, la ENEC establece cinco vehículos para hacer realidad la economía circular en nuestro país, que son la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), los nuevos modelos de negocio, los parques industriales eco-eficientes, las ciudades sostenibles y las cadenas de valor sostenibles.

En cuanto a las estrategias de economía circular en Caldas y Manizales, se han implementado diversas iniciativas para promover la economía circular. En Manizales, por ejemplo, se han establecido objetivos y estrategias específicas para la reducción, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos, así como la promoción de la economía circular en la región, a través del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).

➤ **Dificultades para Implementar la Economía Circular en Manizales.**

Existen varias barreras para implementar la economía circular en Manizales, como los costes iniciales de la transformación, la falta de incentivos fiscales, la poca demanda de los consumidores, la ausencia de un mercado secundario de materias primas o la escasa armonización de políticas públicas. Además, las culturas empresariales estáticas y conservadoras pueden obstaculizar la transformación empresarial, lo que limita el compromiso circular de las organizaciones. Otro desafío importante es la falta de una línea base y de estandarización de data de todas sus operaciones y procesos, que permita establecer metas medibles y priorizar acciones.

➤ **Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo Uso**

Es una iniciativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Este plan tiene como objetivo implementar la gestión sostenible de plástico, a partir de instrumentos y acciones en prevención, reducción, reutilización, aprovechamiento, consumo responsable, generación de nuevas oportunidades de negocio, encadenamientos, empleos y desarrollo tecnológicos, con el fin de proteger los recursos naturales y fomentar la competitividad.

El plan establece metas para los años 2023, 2025 y 2030, que incluyen la prohibición de la distribución y comercialización de productos problemáticos o innecesarios, el aprovechamiento de al menos el 25% de diferentes productos plásticos de un solo uso y la gradualidad para cumplir el objetivo del 100% de los plásticos de un solo uso reutilizables, reciclables o compostables.

Además, el plan incluye varias líneas de acción, como la sustitución gradual de materiales de productos de un solo uso, el fortalecimiento de la cadena de aprovechamiento, la promoción de productos reutilizables en establecimientos de comercio, la gestión ambiental en domicilios de comida, y la prohibición del ingreso y uso de plásticos de un solo uso en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

➤ **Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Manizales.**

El Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Manizales es un instrumento de planeación municipal que contiene objetivos y actividades al servicio del manejo de residuos sólidos. Así se garantiza el mejoramiento continuo y la prestación del servicio de aseo, el cual es

evaluado con mediciones. El PGIRS se desarrollará por medio de 13 programas que permiten conocer el manejo de los residuos sólidos, donde se tiene en cuenta el manejo de las basuras, barrido de calles, poda de césped, residuos de demolición y construcción, inclusión de recicladores y aprovechamiento, entre otros.

En el contexto de Manizales, la implementación de la economía circular se ha convertido en una prioridad. La ciudad ha adoptado el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), que establece objetivos y estrategias específicas para la reducción, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos, así como la promoción de la economía circular en la región.

Además, la ciudad de Manizales ha implementado diversas iniciativas para promover la economía circular. Estas iniciativas incluyen la promoción de la reutilización y reciclaje de los materiales, la minimización de los residuos y la implementación de políticas públicas y estrategias para reducir el impacto ambiental y generar oportunidades económicas sostenibles.

➤ **Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS)**

En cuanto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), estos son un conjunto de 17 objetivos globales establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015. Los ODS abordan una variedad de temas sociales y económicos, incluyendo la pobreza, el hambre, la salud, la educación, el cambio climático, la igualdad de género, el agua, el saneamiento, la energía, el medio ambiente y la justicia social. La economía circular juega un papel crucial en la consecución de estos objetivos, ya que promueve un crecimiento económico sostenible que no

agota los recursos naturales ni daña el medio ambiente.

➤ **Cadena de Valor del PET**

La cadena de valor del PET en una economía circular implica varias etapas, que incluyen el diseño del producto, la producción, el consumo, la recolección de residuos, el reciclaje y la reintroducción de los materiales reciclados en la cadena de producción. El diseño del producto es una etapa crucial en la cadena de valor del PET. Los productos deben diseñarse de manera que sean duraderos, utilicen una cantidad optimizada de material y sean fáciles de desmontar al final de su vida útil. Esto facilita el reciclaje y la reutilización de los materiales.

La producción de productos de PET debe realizarse de manera eficiente y sostenible, lo que implica minimizar el uso de recursos y reducir las emisiones durante el proceso de fabricación. El consumo de productos de PET también desempeña un papel importante en la cadena de valor. Los consumidores pueden contribuir a la economía circular al elegir productos de PET que sean reciclables y al desechar correctamente los productos al final de su vida útil. La recolección de residuos de PET es un paso esencial para garantizar que los materiales puedan ser reciclados y reutilizados, y los sistemas de recolección deben ser eficientes y accesibles para los consumidores. El reciclaje de PET implica procesar los residuos de PET recolectados en nuevos materiales que pueden ser utilizados para producir nuevos productos. El reciclaje de PET puede ayudar a reducir la demanda de petróleo crudo, que es la principal materia prima utilizada para producir PET.

Finalmente, los materiales reciclados deben ser reintroducidos en la cadena de producción. Esto puede implicar el uso de PET reciclado para producir nuevas botellas de bebidas, o el uso de PET reciclado para producir otros productos, como fibras textiles.

La implementación exitosa de la cadena de valor del PET en una economía circular puede contribuir a varios ODS, incluyendo el ODS 12 (Producción y consumo responsables), el ODS 13 (Acción por el clima), y el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura). Sin embargo, la transición hacia una economía circular requiere la cooperación de todos los actores de la cadena de valor, incluyendo los productores, los consumidores, los recolectores de residuos, las empresas de reciclaje, y los responsables políticos.

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en Colombia se generaron en el año 2018 un total de 12.443 toneladas de residuos plásticos, de los cuales el 55% correspondió a envases y empaques. El plástico PET es uno de los tipos de plástico más utilizados en la fabricación de envases y empaques debido a su resistencia y transparencia. Según la Asociación Nacional de Recicladores (ANR), en Colombia se recuperaron en el año 2018 un total de 226.717 toneladas de plásticos, de las cuales el 28% corresponde a PET.

De acuerdo con el informe de sostenibilidad de Enka de Colombia SA del 2020, se estima que para el año 2025 se habrán producido en Colombia 1.8 millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales el 70% corresponderá a envases y empaques. Estos residuos plásticos tienen un alto potencial de contaminación, ya que pueden tardar cientos de años en degradarse y liberar microplásticos que pueden afectar la salud de los ecosistemas y los seres vivos.

Además, la empresa de gestión de residuos industriales Resister Colombia, en una publicación del 18 de enero de 2024 en La República, resalta la considerable diferencia en las tasas de reciclaje de botellas PET entre Suiza y Colombia, lo que plantea desafíos significativos para el país. “Según el informe, mientras Suiza logra reciclar impresionantemente el 83% de las botellas PET, Colombia solo alcanza un modesto 4% de reciclaje de plásticos en este segmento” (La República, 2024).

Este contraste pone de manifiesto una brecha sustancial en la eficacia de los métodos de recolección y reciclaje de plásticos, subrayando la necesidad apremiante de estrategias más efectivas en la gestión de residuos plásticos en Colombia. El gerente general de Resister Colombia, Felipe Barros, “señala este panorama como un desafío crítico que requiere atención inmediata para avanzar hacia prácticas más sostenibles en la gestión de residuos plásticos a nivel nacional” (La República, 2024).

Estos datos son cruciales para nosotros ya que aportan un contexto internacional que aborda la gestión integral de residuos sólidos, específicamente el plástico PET. La disparidad en las tasas de reciclaje resalta la importancia de desarrollar estrategias locales que no solo aborden la situación actual, sino que también se alineen con los objetivos nacionales e internacionales de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC). Además, esta información respalda la necesidad que se tuvo al actualizar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Manizales para abordar de manera efectiva el desafío de la gestión del plástico PET en consonancia con estándares globales y nacionales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer desde la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) la cadena de valor del plástico tereftalato de polietileno (PET) en la ciudad de Manizales en el marco de la economía circular

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar y analizar los actores de la gestión integral de residuos sólidos plásticos tereftalato de polietileno (PET).
2. Realizar un análisis normativo frente la producción, aprovechamiento y disposición final del plástico tereftalato de polietileno (PET)
3. Proponer diferentes estrategias frente a la cadena de valor del plástico tereftalato de polietileno (PET) en el marco de la economía circular.

METODOLOGÍA

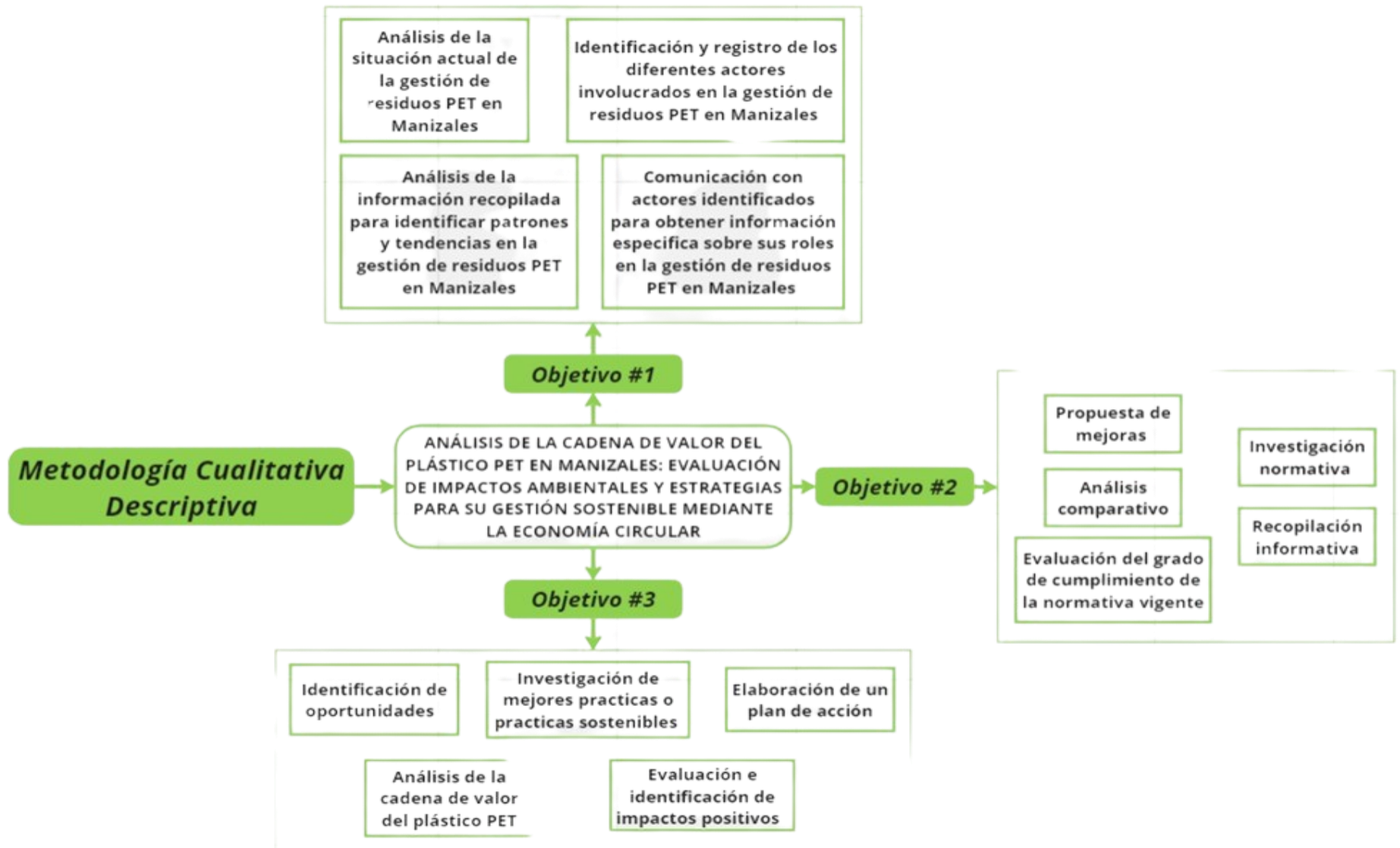


Figura 5 Metodología de Investigación. Fuente: Elaboración Propia. 2023.

La metodología cualitativa descriptiva es un método de investigación que se enfoca en entender y describir de manera detallada fenómenos sociales o culturales, sin necesidad de buscar explicaciones causales. Se fundamenta en la recolección de datos no numéricos, como entrevistas, observaciones o documentos, con el fin de obtener una comprensión completa y detallada del objeto de estudio.

Una de las principales ventajas de la metodología cualitativa descriptiva radica en su capacidad para capturar la complejidad y diversidad de los fenómenos sociales. Al enfocarse en una comprensión profunda, permite explorar las distintas perspectivas y experiencias de los participantes, lo que puede llevar a descubrimientos más contextualizados y significativos.

Para lograr los objetivos planteados en nuestra investigación, implementamos la metodología cualitativa descriptiva que abarcó varias fases. En primer lugar, para identificar y analizar a los actores involucrados en la gestión de residuos sólidos de plástico PET en Manizales, llevamos a cabo un mapeo de empresas, autoridades locales y organizaciones de reciclaje. Este proceso se basó en una revisión documental detallada que nos permitió comprender la diversidad de actores y sus roles en esta problemática.

En segundo lugar, para el análisis normativo, realizamos una revisión de las regulaciones locales relacionadas con la producción, aprovechamiento y disposición final del plástico PET. Este análisis incluyó la evaluación de leyes, normativas y políticas gubernamentales para comprender el marco legal existente y su impacto en la gestión de residuos.

Finalmente, para proponer estrategias en el marco de la economía circular, llevamos a cabo una evaluación de las mejores prácticas internacionales y nacionales en la gestión de residuos plásticos PET. Esta evaluación nos permitió identificar enfoques exitosos y adaptarlos a la realidad local de Manizales. La información recopilada se analizó cuidadosamente y se desarrollaron propuestas específicas que se alinearan con las necesidades y características particulares de la ciudad.

Nuestra metodología se distingue por su enfoque integral y contextualizado hacia la gestión del plástico PET en Manizales. A diferencia de estudios anteriores, abordamos la complejidad de la cadena de valor del PET considerando tanto aspectos cuantitativos como cualitativos, así como la influencia del marco normativo. Además, nuestra investigación se enmarca en objetivos claros como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) y la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Manizales.

La colaboración activa con el programa Cubo R3, el énfasis en la economía circular y la sostenibilidad, así como la creación de propuestas específicas para la realidad manizaleña, son elementos clave que distinguen nuestro trabajo. Este enfoque multidimensional busca no solo comprender los desafíos existentes en la gestión del PET en Manizales, sino también contribuir con soluciones prácticas y sostenibles que beneficien a la comunidad y sirvan como modelo para futuras iniciativas en otras localidades.

OBJETIVO #1

“IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ACTORES DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PLÁSTICOS TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”.

La identificación y el análisis de estos actores son esenciales para comprender las dinámicas involucradas en la gestión integral de los residuos de PET. Al entender las responsabilidades y las interacciones entre estos actores, es posible desarrollar estrategias eficaces de gestión, promover la economía circular y reducir el impacto ambiental negativo causado por este tipo de plástico. Además, fomentar la colaboración y la coordinación entre los diferentes actores puede impulsar la innovación y el desarrollo de soluciones más sostenibles para el manejo de los residuos de PET.










Para lograr nuestro objetivo de identificar y analizar los actores involucrados en la gestión integral de residuos sólidos de plástico PET en Manizales, llevamos a cabo una serie de pasos. En primer lugar, realizamos una investigación y recopilación de información sobre la situación actual de la gestión de residuos PET en la ciudad. Analizamos informes, estudios, documentos normativos y estadísticas relacionadas con la producción, consumo, reciclaje y disposición final de estos residuos. En Colombia, un análisis detallado de la implementación de la estrategia de Economía Circular para las botellas de PET es el titulado: *“La Economía Circular de las botellas PET en Colombia”* (Zapata, Bravo, et al., 2023). Donde identificaron la cadena logística de reciclaje - depósito - transformador - productor - distribuidor - cliente - consumo, encontrando problemas en reciclaje. Además, hablan de los productores de PET, constituidos por Postobón, Coca-Cola y Bavaria, explicando que tienen nuevas responsabilidades

y han liderado la aplicación de economía circular de PET desde hace una década con diferentes iniciativas como los envases retornables. (Zapata, Bravo, et al., 2023). A nivel internacional, la Unión Europea ha propuesto una serie de medidas para prevenir la generación de residuos plásticos y aumentar el reciclado de plásticos. En su artículo *“Economía Circular y plásticos: El camino hacia la sostenibilidad”*, los autores explican detalladamente el anteproyecto del informe de la Unión Europea para los plásticos en la Economía Circular (AINIA, 2023). La estrategia europea se enfoca en la prevención de la generación de residuos plásticos y el aumento del reciclado de plásticos, además de estimular nuevos modelos de negocio, producción y consumo, inteligentes y circulares que cubran toda la cadena de valor (AINIA, 2023).

Estos investigadores y sus trabajos no solo destacan la problemática del PET a nivel nacional e internacional, sino que también ofrecen soluciones viables y sostenibles. Sus responsabilidades incluyen la investigación y el desarrollo de nuevas estrategias y tecnologías, así como la educación y la sensibilización del público sobre la importancia de la sostenibilidad y el reciclaje.

Luego, procedimos a identificar y registrar a los diferentes actores que desempeñan un papel en la gestión de residuos PET en Manizales. Esto incluyó empresas generadoras de residuos, empresas de recolección y transporte, empresas de reciclaje, autoridades locales, organizaciones de recicladores y centros de investigación, entre otros. Analizamos sus actividades, responsabilidades, desafíos y perspectivas en relación con la gestión de residuos PET. Posteriormente, Examinamos las fortalezas y debilidades de los actores involucrados, así como las oportunidades y desafíos que enfrentan en la cadena de valor del PET.

Tabla 1 Leyenda Figura 6. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

ELEMENTO	EXPLICACIÓN
	<p>Industria Petrolera: Este símbolo indica el inicio del ciclo de vida del plástico PET, donde se extraen y procesan los recursos petroleros para producir los pellets de PET.</p> <p>Fábricas de Botellas PET: Este símbolo indica el proceso de fabricación de botellas PET a partir de los pellets de PET producidos en la industria petrolera.</p>
	<p>Fábricas de Embotellamiento de Productos: Este símbolo indica las instalaciones donde se envasan productos en botellas PET, como bebidas, aceites, productos de limpieza, entre otros.</p>
	<p>Centros de Almacenamiento y Distribución de Productos: Este símbolo indica los lugares donde se almacenan temporalmente los productos envasados en botellas PET antes de ser distribuidos a los puntos de venta o consumidores finales.</p>
	<p>Centros de Consumo y Consumidores Finales: Este símbolo indica los lugares donde se adquieren y consumen los productos envasados en botellas PET por parte de los consumidores finales.</p>
	<p>Parque Tecnológico Ambiental La Esmeralda (Relleno Sanitario): Este símbolo indica el lugar de disposición final de los residuos plásticos PET en una economía lineal, donde se lleva a cabo la disposición final de los residuos y el tratamiento adecuado de los mismos.</p>
	<p>Empresas de Reciclaje y/o Gremio de Recicladores: Este símbolo indica la actividad de reciclaje realizada por empresas especializadas en el tratamiento de residuos plásticos PET, así como por el gremio de recicladores que participan en la recolección y clasificación de estos materiales para su posterior reciclaje.</p>
	<p>Empresas de Transformación del Plástico: Este símbolo indica la actividad de transformación realizada por empresas especializadas en la limpieza, fabricación y producción de productos plásticos a partir del plástico PET reciclado, incluyendo el moldeo, ensamblaje y acabado de los productos terminados.</p>
	<p>Empresas de Aprovechamiento del Plástico: Este símbolo indica la actividad de aprovechamiento realizado por empresas especializadas en procesamiento y transformación de plásticos PET reciclados, con el fin de reintroducirlos en la cadena de valor como materia prima secundaria.</p>
	<p>Iniciativas Sostenibles de Economía Circular: Este símbolo indica iniciativas sostenibles implementadas por empresas públicas o privadas, como el Cubo R3, la industria de bebidas con envases retornables, entre otras, que promueven la circularidad y la sostenibilidad en el ciclo de vida del plástico PET.</p>

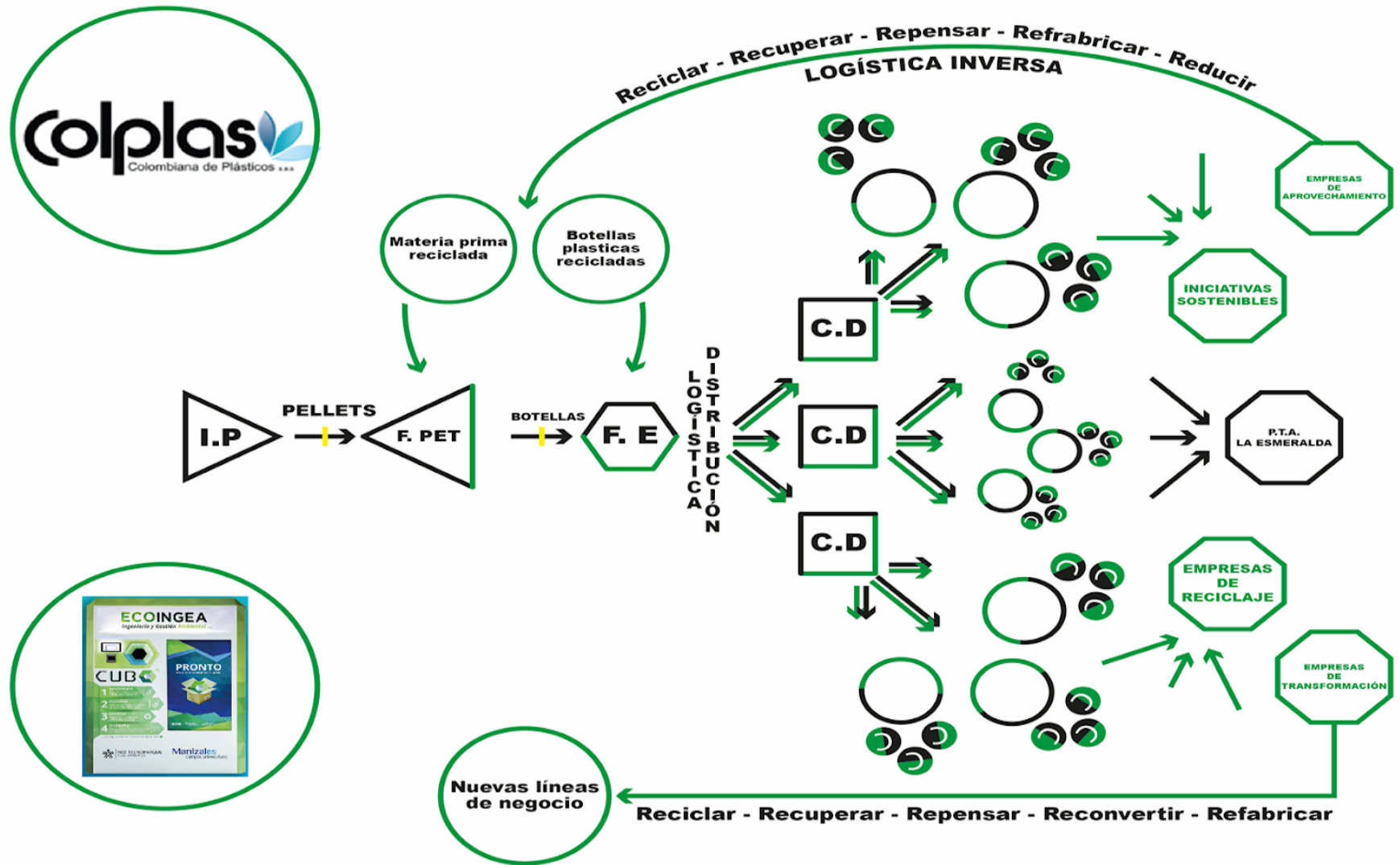


Figura 6 Economía Circular PET Manizales. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

La gráfica elaborada muestra el ciclo de vida del plástico PET en Manizales, destacando los diferentes actores involucrados y cómo se relacionan para crear el producto final. En la representación inicial, que se muestra en color negro, se presenta el ciclo de vida bajo una economía lineal. Los símbolos identifican a los actores clave, desde la industria petrolera hasta los centros de consumo y consumidores finales, pasando por las fábricas de botellas PET, las plantas de embotellamiento, los centros de almacenamiento y distribución, y finalmente, el relleno sanitario de Manizales como destino final.

Sin embargo, el ciclo de vida del plástico PET cambia radicalmente con la introducción de la logística inversa y los principios de la economía circular, representados en color verde en la misma línea. A través de símbolos específicos, como empresas de reciclaje, empresas de transformación y aprovechamiento del plástico, así como iniciativas sostenibles de economía circular como el Cubo R3 y envases retornables, se muestra cómo se desvían los desechos plásticos del relleno sanitario y se reintegran al ciclo como materias primas recicladas.

Esta representación visual resalta la importancia de la implementación de prácticas sostenibles y circulares en la gestión de residuos plásticos en Manizales, transformando el ciclo de vida del plástico PET y mitigando su impacto ambiental, apoyando esta gráfica, a continuación, nos encontramos con una tabla de los actores reales que encontramos en Manizales y sus responsabilidades frente a la temática que venimos desarrollando.

Tabla 2 Actores, Roles y Responsabilidades Manizales. Fuente. Elaboración Propia. 2023.

ACTORES	RESPONSABILIDADES	EJEMPLO
<p>Autoridades locales y entidades gubernamentales</p>	<p>Planificar, regular y supervisar la gestión de residuos sólidos, promover la adopción de políticas y normativas, realizar la recolección y disposición final de los residuos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Secretaría de Medio Ambiente de la Alcaldía de Manizales. 2. Empresa de Aseo de Manizales (EAM). 3. Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS). 4. Empresa Pública para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (EPADIS). 5. Secretaría de Planeación de la Alcaldía de Manizales. 6. Secretaría de Obras Públicas de la Alcaldía de Manizales. 7. Secretaría de Salud de la Alcaldía de Manizales. 8. Dirección Territorial de Salud de Caldas.
<p>Empresas privadas de recolección y transporte de residuos</p>	<p>Realizar la recolección y transporte de los residuos sólidos generados en la ciudad hacia los lugares de disposición final o plantas de tratamiento</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Empresas Públicas de Manizales (EMAS). 2. Serviaseo Manizales. 3. Integral de Limpieza Ambiental (ILA). 4. Proambiente Manizales. 5. Recicol S.A. 6. Limpieza y Recolección Manizales. 7. Geopolis Ambiental. 8. Medio Ambiente y Servicios Manizales (MASMA). 9. Transportes Especiales Residuecol. 10. Limpieza Ambiental de Manizales (LIMAN).

<p>Empresas de reciclaje y recuperación de residuos</p>	<p>Recibir, clasificar y procesar los residuos sólidos para su posterior recuperación y reciclaje. Promover la economía circular y la valorización de los materiales</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. EcoReciclar Manizales. 2. PlasticoManizales. 3. Manizales Recicla. 4. PETMAN. 5. Reciclados Manizales. 6. Recicladora Ambiental Manizales. 7. Ecoplast. 8. Recuperadora de Materiales Ambientales. 9. Ecopet Manizales. 10. GreenPET. 11. RED CICLO. 12. Econet. 13. Recicaldas Reciclaje. 14. No es basura.
<p>Comunidades y ciudadanos</p>	<p>Separar adecuadamente los residuos en sus hogares, participar en programas de recolección selectiva, promover prácticas de reducción y reutilización de residuos.</p>	<p>Los habitantes de Manizales que participan en programas de separación de residuos en origen y utilizan contenedores específicos para plásticos PET</p>
<p>Industrias y productores</p>	<p>Implementar prácticas de producción sostenible, reducción de residuos y diseño de envases amigables con el medio ambiente. Responsabilizarse de la gestión adecuada de los residuos generados en sus procesos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Grupo Nutresa. 2. Colombina. 3. Tecnoglass. 4. Postobón. 5. Colombit S.A. 6. Quala. 7. Coomeva. 8. Servientrega.

➤ CONTEXTO NACIONAL



Figura 7 Categorización de residuos. Fuente: DNP. 2015.

En Colombia, la gestión y el manejo de residuos sólidos está regulado por varias leyes y decretos, como el Decreto 357 de 1997, que busca gestionar y controlar de manera óptima y pertinente el manejo, transporte y disposición final de residuos (Murcia, 2021). Además, el Decreto 1713 de 2002 reglamenta la Ley 142 de 1994 y establece la modalidad de prestación de servicio público domiciliario de aseo para residuos sólidos de origen residencial y para otros residuos que pueden ser similares a estos.

Es importante destacar que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se encarga de la gestión integral de residuos domiciliarios en Colombia, incluyendo los residuos plásticos. “En 2022, el Ministerio aprobó la actualización de la Política ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios y su plan de acción 2022-2030, que busca fortalecer la gestión integral de los residuos domiciliarios, reconociendo las necesidades de los diferentes grupos de interés, así como la problemática ambiental asociada a su generación y manejo, con el fin de proteger el ambiente y la salud humana, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

➤ CONTEXTO DEPARTAMENTAL

En el departamento de Caldas, Colombia, se han implementado diversas medidas para gestionar y regular la disposición de residuos PET. La Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) es la entidad encargada de supervisar y regular la gestión ambiental en el departamento.

Una de las estrategias utilizadas en Caldas es la implementación de programas de recolección selectiva y reciclaje de residuos PET. Estos programas buscan involucrar a la comunidad en la separación de residuos en origen y promover su correcta disposición para su posterior reciclaje. Además, se fomenta la educación ambiental para concientizar a la población sobre la importancia del reciclaje y la reducción de residuos.

En Colombia, se importan desechos de plástico para su reciclaje. Según un directorio de reciclaje de plásticos en Colombia, se importaron 2.500 toneladas de desechos de PET en 2020 (CEPAL,2021). En la ciudad de Manizales, capital del departamento de Caldas, se han identificado empresas que producen la resina del PET o transforman la resina fabricando diferentes productos plásticos a partir de ella.

En cuanto a las leyes y regulaciones relacionadas con la gestión y disposición de residuos PET en Caldas, se deben seguir las normativas nacionales establecidas en Colombia. Estas regulaciones incluyen la Ley 1259 de 2008, que establece los principios y disposiciones generales para la gestión integral de residuos, así como otras leyes y decretos relacionados con el medio ambiente y la protección de recursos naturales.

Por lo que podemos concluir que en Caldas se han implementado programas y políticas para fomentar la gestión adecuada de residuos PET, incluyendo la recolección selectiva y el reciclaje. CORPOCALDAS supervisa la gestión ambiental en el departamento y se rige por las leyes y regulaciones establecidas a nivel nacional en Colombia. Además, se importan desechos de plástico para su reciclaje.

➤ CONTEXTO MUNICIPAL

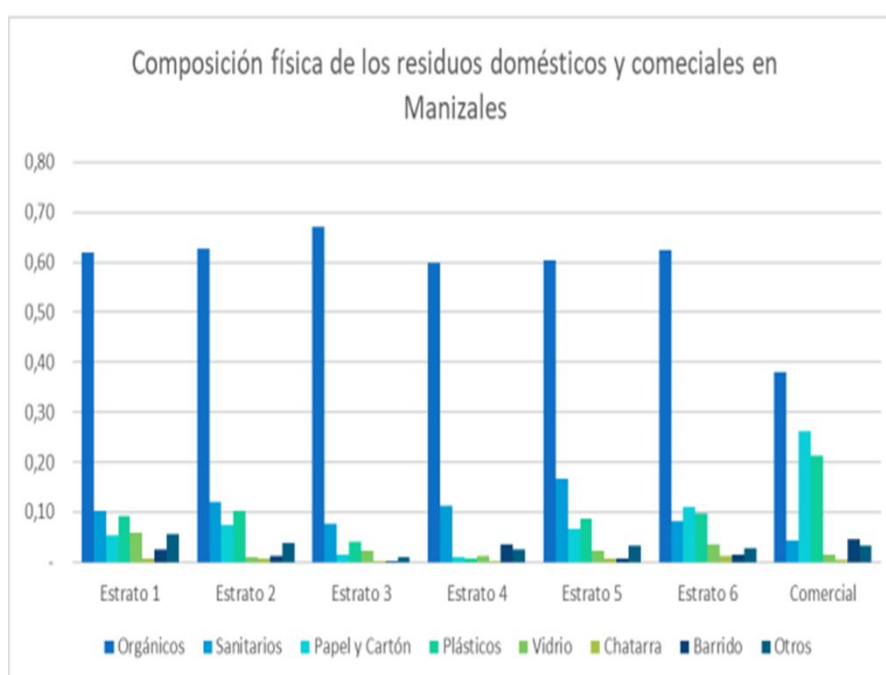


Figura 8 Caracterización Residuos Manizales. Fuente: PGIRS Manizales. 2019.

En Manizales, Colombia, la gestión y el manejo de residuos sólidos se rige por leyes y decretos a nivel nacional, como el Decreto 357 de 1997 y el Decreto 1713 de 2002, que buscan gestionar y controlar de manera óptima y pertinente el manejo, transporte y disposición final de residuos. El Decreto 1713 de 2002 establece la modalidad de prestación de servicio público domiciliario de aseo para residuos sólidos de origen residencial y para otros residuos que pueden ser similares a estos (Función Pública).

Según un estudio sobre la producción, recolección y disposición de residuos sólidos urbanos en el municipio de Puerto Asís Putumayo, los residuos plásticos representan una gran parte de los residuos sólidos generados en Colombia. Sin embargo, no se encontraron datos específicos sobre la cantidad de residuos plásticos, en especial el plástico PET, generados en Manizales. Es importante destacar que, aunque el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se encarga de la gestión integral de residuos peligrosos a nivel nacional, en Manizales, la gestión de residuos sólidos se realiza a través de la Empresa de Aseo de Manizales (EMAS by Veolia). EMAS es la entidad encargada de la gestión ambiental en la ciudad y, por lo tanto, de la gestión de residuos sólidos en la región.

En cuanto a las normativas, el Decreto 357 de 1997 establece las normas para la gestión y el manejo de residuos sólidos, incluyendo la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos. Por su parte, el Decreto 1713 de 2002 reglamenta la Ley 142 de 1994 y establece la modalidad de prestación de servicio público domiciliario de aseo para residuos sólidos de origen residencial y para otros residuos que pueden ser similares a estos.

➤ **INICIATIVAS SOSTENIBLES**

El programa Cubo R3 ha tenido un impacto significativo en la ciudad de Manizales desde su lanzamiento el 18 de octubre de 2018. Durante este tiempo, se han reciclado exitosamente 368,674 envases PET, gracias a la participación de 10,230 usuarios. Esta iniciativa busca promover la responsabilidad social y la cultura ambiental mediante la instalación de puntos inteligentes de captación de residuos.

Estos puntos inteligentes se encuentran ubicados estratégicamente en instituciones públicas y privadas de la ciudad, brindando acceso a herramientas tecnológicas para que los ciudadanos puedan participar activamente en el proceso de reciclaje. A cambio de latas y recipientes plásticos PET, los usuarios reciben novedosos beneficios, incentivando así el cuidado por el medio ambiente y la creación de una cultura de separación de residuos.

La instalación de estos puntos de reciclaje inteligentes representa un paso adelante en la gestión de residuos en Manizales, alineándose con las prácticas de reciclaje de países más avanzados y promoviendo una ciudad más sostenible y amigable con el medio ambiente.

OBJETIVO #2

“ANÁLISIS NORMATIVO FRENTE LA PRODUCCIÓN, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL PLÁSTICO TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)”.

El análisis normativo frente a la producción, aprovechamiento y disposición final del plástico PET es esencial para promover una gestión integral y sostenible de este tipo de residuo. Al comprender el marco legal existente y proponer mejoras, se pueden establecer las bases para una economía circular más efectiva y reducir el impacto ambiental negativo asociado con el PET.

La elaboración de la matriz de requisitos legales es esencial para comprender la normativa colombiana relacionada con el plástico PET. Esta herramienta organiza y sistematiza la información legal, permitiendo identificar de manera clara y estructurada las obligaciones, prohibiciones y aspectos relevantes. La matriz se constituye como una brújula que guía la conformidad con las disposiciones legales, fortaleciendo la toma de decisiones y acciones.

En nuestro caso, se ha llevado a cabo una revisión de la legislación colombiana vigente aplicable al PET. Se ha incluido la normativa específica relacionada con la producción, aprovechamiento y disposición final de este material. Esta matriz es una herramienta dinámica que se actualizará conforme a cambios en la legislación, asegurando su relevancia y utilidad a lo largo del proyecto.

La relación de nuestro trabajo de grado con la cadena de valor del plástico PET es crucial. El análisis normativo proporciona un marco legal claro que impacta directamente en la gestión de la cadena de valor. Comprender las regulaciones vigentes nos permite identificar áreas de mejora, proponer estrategias enmarcadas en la economía circular y desarrollar prácticas más sostenibles. Así, al alinearnos con la normativa, contribuimos a fortalecer la cadena de valor del PET desde un enfoque legal y sostenible.

Este enfoque normativo también resalta la importancia de la economía circular en la gestión de residuos plásticos. La legislación existente refleja la necesidad de avanzar hacia procesos que minimicen impactos ambientales. Por ende, nuestro trabajo propone estrategias que, al cumplir con las normativas, impulsarán la economía circular en la gestión del PET, maximizando la reutilización, el reciclaje y la eficiencia de los recursos. Por todo esto la matriz normativa no solo garantiza la conformidad legal, sino que también potencia las iniciativas de sostenibilidad y economía circular en la cadena de valor del plástico PET en Manizales.

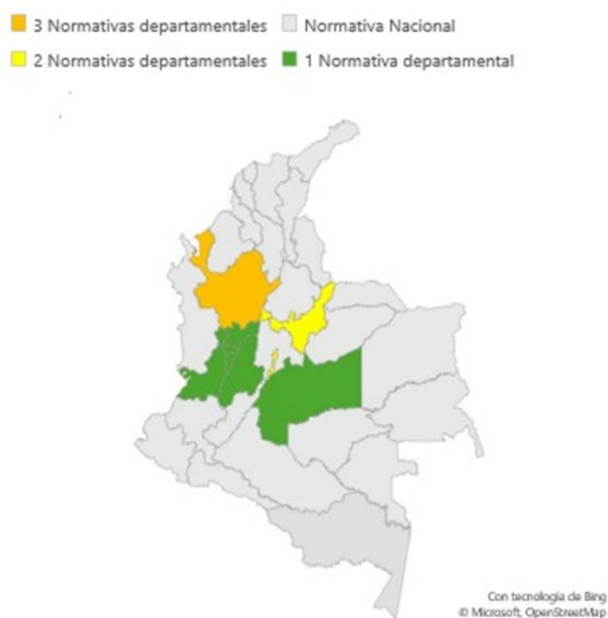


Figura 9 Mapa Calor. Fuente: Elaboración Propia.2023.

En Colombia, el plástico PET se ha convertido en una herramienta de doble filo, desempeñando un papel esencial en la vida diaria como un recurso versátil y económico, pero al mismo tiempo, planteando una amenaza ambiental significativa. Constituyendo aproximadamente el 10% de los residuos sólidos urbanos y con una tasa de reciclaje apenas del 15%, el plástico PET contribuye de manera sustancial a problemas medioambientales que van desde la contaminación del agua y del suelo hasta la emisión de gases tóxicos en la atmósfera.

Ante este desafío, Colombia ha implementado políticas ambientales cruciales, como la Ley 2232 de 2022 y el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso. Estas iniciativas no solo buscan reducir la producción y el consumo de plásticos de un solo uso, incluyendo el PET, sino que también establecen metas ambiciosas para el reciclaje. Más allá de abordar la contaminación, estas políticas son fundamentales para preservar la salud humana, proteger la economía y conservar los valiosos ecosistemas. Al establecer normas de producción, fomentar la reutilización y el reciclaje, y promover la educación ambiental, Colombia está dando pasos significativos hacia un futuro más sostenible y saludable. Sin embargo, la implementación efectiva de estas políticas sigue siendo crucial para lograr resultados tangibles y duraderos.

A medida que Colombia enfrenta los desafíos ambientales derivados del plástico PET, la necesidad de políticas sólidas se vuelve aún más apremiante. En este contexto, las medidas gubernamentales, con la Ley 2232 de 2022 y el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un Solo Uso, desempeñan un papel crucial al establecer estándares para la producción y consumo responsable de plásticos. Estas políticas no solo prohíben gradualmente productos de un solo uso, como bolsas plásticas, sino que también establecen metas ambiciosas

de reciclaje para el año 2030, apuntando al 80%. Este enfoque integral no solo se centra en reducir la generación de residuos, sino también en maximizar la recuperación de materiales para su reutilización.

Además, la concienciación y educación ambiental son componentes fundamentales de la estrategia colombiana para abordar el problema del plástico PET. Campañas lideradas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible están desempeñando un papel crucial al informar a la población sobre los impactos ambientales del plástico PET y fomentar prácticas más sostenibles en la vida diaria. Este enfoque proactivo busca cambiar las actitudes y comportamientos de los ciudadanos, creando una cultura que valore la reducción de residuos y el reciclaje.

Adicionalmente, la colaboración entre el gobierno, las empresas y la sociedad civil se está fortaleciendo para garantizar una implementación efectiva de estas políticas. Incentivos para la industria del reciclaje, la promoción de alternativas sostenibles y la participación de las comunidades locales, son elementos clave que están impulsando la transición hacia un manejo más responsable de los plásticos.

La matriz presenta una visión detallada de la cantidad de políticas ambientales dirigidas específicamente a la utilización y reciclaje de plásticos de un solo uso en diferentes departamentos de Colombia. Estas políticas desempeñan un papel crucial en la gestión sostenible de los recursos y la mitigación de los impactos ambientales asociados con el plástico, un material omnipresente en nuestra sociedad actual.

En este contexto, es evidente que algunos departamentos, como Antioquia, Bogotá D.C., Caldas, Meta, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca, han adoptado medidas concretas al implementar políticas ambientales específicas, simbolizadas por los colores naranja y verde en el mapa. Estas iniciativas reflejan un compromiso tangible hacia la reducción de plásticos de un solo uso, promoviendo prácticas más responsables y sostenibles.

Sin embargo, es crucial resaltar la ausencia de políticas en muchos otros departamentos, marcados en blanco en la tabla. La falta de normativas ambientales sobre plásticos de un solo uso en estos territorios podría representar una oportunidad perdida para el desarrollo sostenible. La implementación de políticas en estas regiones no solo contribuiría significativamente a la preservación del medio ambiente y la reducción de la contaminación plástica, sino que también podría impulsar el progreso económico a largo plazo.

Contar con normativas ambientales sólidas sobre plásticos de un solo uso no solo protege los recursos naturales y fomenta prácticas más sostenibles, sino que también puede atraer inversiones y promover un turismo responsable. Los departamentos que lideran en la adopción de estas políticas no solo están salvaguardando su entorno, sino que también están posicionando sus territorios como destinos comprometidos con la sostenibilidad, lo que puede traducirse en beneficios económicos y sociales a largo plazo.

La implementación de políticas ambientales sobre el uso y reciclaje de plásticos de un solo uso no solo impacta positivamente a nivel local, sino que también se alinea estrechamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas. Estos

objetivos globales proporcionan un marco integral para abordar desafíos críticos, y las políticas ambientales específicas en Colombia desempeñan un papel clave en varios de estos ODS.

En primer lugar, las políticas orientadas hacia la reducción de plásticos de un solo uso contribuyen directamente al ODS 12 (Producción y Consumo Responsables). Al fomentar prácticas sostenibles en la producción y el consumo de plásticos, se trabaja para garantizar un uso más eficiente de los recursos y reducir significativamente la generación de residuos, alineándose con la visión de un consumo más responsable y sostenible.

El ODS 14 (Vida Submarina), también se ve beneficiado, ya que las políticas que buscan limitar la contaminación por plásticos contribuyen a la preservación de los ecosistemas marinos. La reducción de residuos plásticos que terminan en océanos y ríos es esencial para proteger la biodiversidad acuática y mantener la salud de los ecosistemas marinos. Además, estas políticas juegan un papel importante en el ODS 13 (Acción por el Clima). La gestión sostenible de plásticos de un solo uso ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y descomposición de estos materiales, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático.

Asimismo, al abordar la contaminación plástica, estas políticas impactan positivamente en la salud y el bienestar de las comunidades locales, vinculándose al ODS 3 (Salud y Bienestar). La disminución de la contaminación del agua y del aire relacionada con los plásticos beneficia directamente a la salud humana, evitando enfermedades relacionadas con la exposición a sustancias tóxicas.

Adicionalmente, el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) se ve favorecido, ya que las políticas dirigidas a la gestión sostenible de plásticos contribuyen a la creación de entornos urbanos más limpios y saludables. La reducción de residuos plásticos en entornos urbanos no solo mejora la calidad de vida de los habitantes, sino que también promueve la planificación y gestión eficiente de las ciudades.

La adopción de políticas de este tipo también está alineada con el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres). La contaminación por plásticos afecta negativamente a los ecosistemas terrestres al alterar los suelos y amenazar la vida silvestre. La gestión sostenible de plásticos contribuye a la preservación de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas en tierra firme.

Asimismo, las políticas ambientales tienen un impacto positivo en el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura). Al fomentar prácticas industriales más sostenibles y promover la innovación en la gestión de plásticos, se contribuye a la construcción de una infraestructura más eficiente y sostenible, impulsando el desarrollo económico.

Esta diversidad de regulaciones demuestra un compromiso descentralizado pero significativo con la gestión sostenible de plásticos de un solo uso en Colombia. Sin embargo, para maximizar la efectividad de estas medidas y garantizar una transición armoniosa hacia prácticas más responsables a nivel nacional, la unificación de normativas emerge como una necesidad ineludible. La coherencia en los estándares regulatorios no solo fortalecería la aplicación de estas políticas, sino que también impulsaría la consolidación de Colombia como líder en sostenibilidad ambiental a nivel global.

MATRIZ DE REQUISITOS LEGALES	
<i>LEYES</i>	2
<i>RESOLUCIONES</i>	6
<i>DECRETOS</i>	10
<i>ACUERDO</i>	3
<i>ORDENANZA</i>	2
<i>ACUERDO DISTRITAL</i>	1
OTRAS NORMATIVAS	
<i>CONPES 3874</i>	
<i>PGIRS MANIZALES</i>	
<i>RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR (REP)</i>	
<i>Política Nacional de Producción y Consumo</i>	

Figura 10 Resumen Matriz de Requisitos. Fuente: Elaboración Propia. 2023.

OBJETIVO #3

“PROPOSICION DE DIFERENTES ESTRATEGIAS FRENTE A LA CADENA DE VALOR DEL PLÁSTICO TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR”.

Para avanzar hacia una economía circular en la cadena de valor del PET es necesario proponer y adoptar diferentes estrategias. Estas incluyen la reducción y la reutilización del PET, el fomento del reciclaje de alta calidad, la valorización energética cuando sea necesario y la colaboración entre los actores involucrados. Al implementar estas estrategias, podemos maximizar el valor de los recursos, reducir la generación de residuos y minimizar el impacto ambiental negativo asociado con el PET.

La unificación de los aspectos de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) es fundamental para abordar eficazmente la problemática de los residuos. Al integrar los aspectos técnicos, ambientales, financieros/económicos, socio-culturales, institucionales y político-legales, se garantiza una visión holística que permite la coordinación efectiva de todas las partes involucradas hacia objetivos comunes, promueve prácticas que minimizan el impacto ambiental de los residuos, considera la eficiencia de costos y la generación de valor a partir de los residuos, e involucra a la comunidad y considera el impacto social de la gestión de residuos. La unificación es clave para desarrollar estrategias que no solo sean efectivas en el corto plazo, sino que también aseguren la sostenibilidad y el bienestar de las generaciones futuras.

Un plan de acción bien estructurado para avanzar hacia una economía circular en la cadena de valor del plástico PET en la ciudad de Manizales debería abordar de manera integral los diferentes aspectos de la gestión de este material. A continuación, les presentamos el plan de acción propuesto para guiarnos a un futuro sostenible:

Etapa	Título	Orientación	Participación	Orden	Predecesores
1	“Conociendo el PET”	Auto diagnóstico	Gestores y Generadores	A	-
2	“Educando para el cambio”	Educación Superior	SUMA	B	A
3	“Separando para reciclar”	Comunidad	EMAS, Alcaldía, Gremio de recicladores, ACOPI	C	D
4	“Reciclando con propósito”	Empresas de Transformación	Gremio de Recicladores, EMAS	D	A
5	“Diseñando para el futuro”	Actores involucrados en la Cadena de Beneficio		E	J
6	“Produciendo con responsabilidad”			F	E
7	“Regulando para el cambio”	Comunidad e Industria	Administración Municipal	G	K
8	“Innovando en tecnología”	Actores involucrados en la Cadena de beneficio, Resaltando la colaboración Público- Privado		H	D
9	“Colaborando por un futuro sostenible”			I	C,H
10	“Evaluando nuestro progreso”	Actores Involucrados al Proceso		J	A
11	“Incentivando el cambio”	Actores involucrados en la Cadena de Beneficio		K	F
12	“Participando juntos por un futuro sostenible”	Actores Involucrados al Proceso		L	B
13	“Comunicando nuestro progreso”	Actores Involucrados al Proceso		M	L,I,G

Figura 11 Propuesta de cadena de valor. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

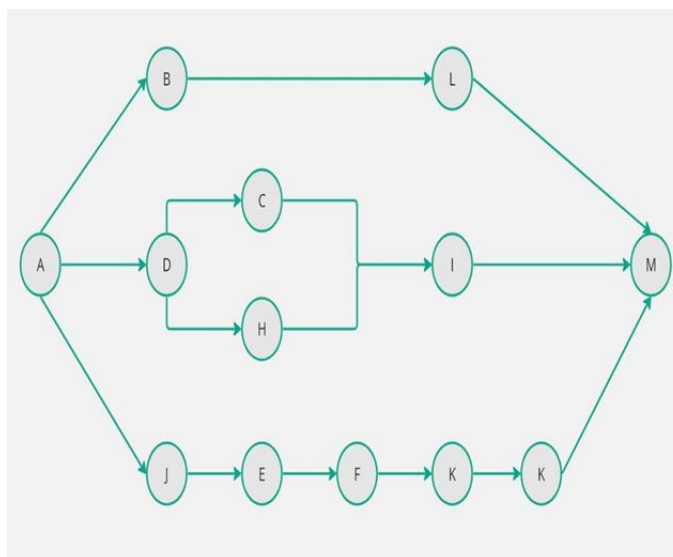


Figura 12 Diagrama de PERT Propuesta. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

1. Diagnóstico y Evaluación Inicial: “Conociendo el PET”

Para comprender la situación actual del manejo del PET en Manizales, comenzaremos con un diagnóstico. Esto implica sumergirnos en los datos y detalles relacionados con la producción, el consumo y la gestión de residuos PET en la ciudad. Trabajaremos en estrecha colaboración con instituciones locales, empresas y organizaciones de reciclaje para recopilar información detallada sobre la cantidad de PET generado, las prácticas de disposición existentes y las políticas normativas en vigor. Este diagnóstico nos proporcionará una visión completa y detallada de los desafíos y oportunidades en la gestión del PET en Manizales, lo que nos permitirá diseñar estrategias efectivas y adaptadas a la realidad local. Los resultados de este diagnóstico serán fundamentales para orientar nuestras acciones futuras y lograr un impacto significativo en la gestión sostenible del PET en la ciudad.

2. "Educación y Concientización: “Educando para el cambio”

La educación y concientización juegan un papel fundamental en nuestro esfuerzo por

impulsar un cambio significativo en la gestión del PET en Manizales. Nos centraremos en educar y concientizar a la comunidad estudiantil de la ciudad, desde colegios hasta universidades y escuelas superiores. Desarrollaremos programas educativos interactivos y participativos que aborden temas clave relacionados con el PET, como la importancia de reducir, reutilizar y reciclar este material, los impactos ambientales asociados con su mal manejo y las prácticas sostenibles para su gestión. Nuestro objetivo es empoderar a los estudiantes para que se conviertan en agentes de cambio en sus comunidades, adoptando hábitos responsables y promoviendo prácticas sostenibles en sus entornos educativos y más allá. A través de esta educación ambiental, aspiramos a crear una cultura de respeto y cuidado por el medio ambiente en las futuras generaciones de Manizales, lo que contribuirá a un manejo más efectivo y sostenible del PET en la ciudad

3. Recogida Selectiva: *“Separando para reciclar”*

La recogida selectiva es un pilar fundamental de nuestro plan para mejorar la gestión del PET en Manizales. Implementaremos un programa integral de recogida selectiva de residuos que abarque toda la ciudad y que involucre la participación de empresas públicas y privadas. Este programa incluirá la distribución estratégica de contenedores separados específicamente para el PET y otros materiales reciclables en diferentes puntos de la ciudad, como parques, plazas, centros comerciales y áreas residenciales. Trabajaremos en colaboración con empresas locales y entidades gubernamentales para identificar ubicaciones óptimas y garantizar una cobertura adecuada en toda la ciudad. Además, implementaremos campañas de sensibilización y capacitación dirigidas a la comunidad para promover la participación en la separación de residuos y fomentar una cultura de reciclaje en Manizales. Nuestro objetivo es facilitar y

fomentar la separación adecuada de residuos en la fuente, lo que permitirá una recolección más eficiente y una mayor recuperación de materiales reciclables, incluido el PET, para su posterior procesamiento y reutilización

4. Centros de Reciclaje y Valorización: “Reciclando con propósito”

Para fortalecer la gestión del PET en Manizales, estableceremos centros de reciclaje y valorización en puntos estratégicos de la ciudad. Estos centros servirán como instalaciones especializadas para la clasificación, limpieza y preparación adecuada del PET y otros materiales reciclables. Trabajaremos en colaboración con empresas de reciclaje locales y gremios de recicladores para operar estos centros de manera eficiente y efectiva. Además, consideraremos la valorización energética como una alternativa sostenible para los residuos no reciclables. Estableceremos alianzas con empresas especializadas en tecnologías de valorización energética para implementar sistemas de recuperación de energía a partir de residuos sólidos, maximizando así el aprovechamiento de recursos y reduciendo el impacto ambiental asociado con la disposición final de residuos. Nuestra meta es establecer una red de centros de reciclaje y valorización que contribuyan significativamente a la reducción de residuos, la promoción del reciclaje y la generación de valor económico y ambiental en Manizales

5. Innovación y Diseño Sostenible: “Diseñando para el futuro”

Para avanzar hacia una gestión más sostenible del PET en Manizales, trabajaremos en estrecha colaboración con industrias y diseñadores locales para fomentar la innovación y el diseño sostenible en la producción de envases y productos PET. Organizaremos mesas de trabajo y grupos de enfoque que reúnan a representantes de la industria, diseñadores, expertos en

sostenibilidad y otros actores relevantes para identificar oportunidades de mejora en el diseño de envases PET. Nuestro objetivo es desarrollar envases y productos PET que sean más fáciles de reciclar y más sostenibles en toda su vida útil. Esto puede incluir la reducción del uso de PET, la exploración de materiales alternativos más ecoamigables, como el PLA (ácido poliláctico) biodegradable, y la promoción de envases retornables y reutilizables. Trabajaremos con empresas locales para implementar prácticas de diseño sostenible en sus procesos de producción y promover la adopción de envases y productos PET más sostenibles en el mercado local. Además, colaboraremos con instituciones educativas y centros de investigación para fomentar la investigación y la innovación en el desarrollo de soluciones más sostenibles para la gestión del PET en Manizales

6. Economía Circular Empresarial: “Produciendo con responsabilidad”

En esta etapa, nos enfocaremos en establecer asociaciones sólidas con empresas locales para fomentar prácticas de producción más sostenibles y avanzar hacia una economía circular en la gestión del PET en Manizales. Trabajaremos en colaboración con empresas de diversos sectores, incluyendo alimentos y bebidas, cosméticos, y empaques, para identificar oportunidades de mejora en sus procesos de producción. Organizaremos talleres y sesiones de capacitación dirigidas a las empresas locales para aumentar su conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y proporcionarles herramientas y recursos para implementar prácticas de producción más sostenibles. Además, fomentaremos la adopción de sistemas de "cradle-to-cradle" (de la cuna a la cuna) en la fabricación de productos PET. Esto implica diseñar productos de manera que sus materiales puedan ser recuperados y reciclados al final de su vida útil, creando así un ciclo continuo de uso de recursos. Trabajaremos en estrecha colaboración con las

empresas para revisar y modificar sus procesos de producción y productos existentes para hacerlos más alineados con los principios de la economía circular. Nuestro objetivo es promover una cultura empresarial que valore la sostenibilidad y adopte prácticas de producción más responsables, lo que contribuirá significativamente a reducir el uso de PET y avanzar hacia una gestión más sostenible de este material en Manizales

7. Regulaciones y Normativas: “Regulando para el cambio”

En el marco de nuestra estrategia para avanzar hacia una economía circular en la gestión del PET en Manizales, es crucial revisar y actualizar las regulaciones locales pertinentes. Trabajaremos en colaboración con las autoridades locales y otros actores relevantes para identificar las regulaciones existentes que requieren ajustes o modificaciones para promover la economía circular y establecer metas ambiciosas de reciclaje y reducción de residuos. Realizaremos un análisis de las leyes, normativas y políticas gubernamentales relacionadas con la gestión de residuos sólidos y plásticos en Manizales. Esto incluirá revisar las disposiciones legales que regulan la producción, consumo, disposición y reciclaje de PET, así como aquellas relacionadas con el establecimiento de incentivos fiscales y financieros para empresas que adopten prácticas de economía circular. Nuestro objetivo es proponer enmiendas y mejoras a las regulaciones existentes que promuevan la economía circular y faciliten la implementación de prácticas sostenibles de gestión del PET en la ciudad. Además, abogaremos por el establecimiento de metas ambiciosas de reciclaje y reducción de residuos en línea con los estándares internacionales de sostenibilidad. Al hacerlo, contribuiremos significativamente a crear un entorno normativo favorable que impulse la transición hacia una gestión más sostenible del PET en Manizales y promueva la economía circular en la ciudad

8. Inversión en Tecnología: *“Innovando en tecnología”*

Para impulsar la transición hacia una economía circular en la gestión del PET en Manizales, es fundamental fomentar la inversión en tecnologías avanzadas de reciclaje y valorización de residuos. Nuestro objetivo es promover la adopción de tecnologías innovadoras que permitan una mayor eficiencia en la gestión de los materiales PET, desde su recolección hasta su reciclaje y valorización. Trabajaremos en colaboración con empresas del sector privado, instituciones de investigación y autoridades locales para identificar y evaluar tecnologías emergentes y probadas que sean adecuadas para el contexto local de Manizales. Estas tecnologías pueden incluir sistemas automatizados de separación y clasificación de residuos, procesos de reciclaje químico o mecánico avanzados, y tecnologías de valorización energética que conviertan los residuos PET en recursos útiles, como energía o productos químicos secundarios. Al fomentar la inversión en estas tecnologías, no solo mejoraremos la eficiencia y la calidad del reciclaje de PET en Manizales, sino que también contribuiremos al desarrollo económico y tecnológico de la ciudad. Además, estas inversiones generarán empleo en el sector de la economía circular y promoverán la innovación en el manejo de residuos, posicionando a Manizales como un referente en la implementación de soluciones tecnológicas sostenibles para la gestión de los materiales PET

9. Colaboración Público-Privada: *“Colaborando por un futuro sostenible”*

Fomentar la colaboración público-privada y la participación de diferentes actores de la sociedad es fundamental para avanzar hacia una gestión más sostenible de los materiales PET en Manizales. Nuestro objetivo es establecer alianzas estratégicas entre el gobierno local, las

empresas, las ONG y otros actores clave, con el fin de promover prácticas y políticas que impulsen la economía circular en la cadena de valor del PET. Trabajaremos en conjunto con el gobierno municipal para desarrollar marcos regulatorios y políticas que fomenten la adopción de prácticas sostenibles por parte de las empresas y promuevan la colaboración entre los diferentes sectores. Al mismo tiempo, incentivaremos la participación activa del sector privado y las ONG en iniciativas de reciclaje y valorización de residuos, a través de programas de financiamiento, incentivos fiscales y capacitación en economía circular. Además, promoveremos la creación de plataformas de diálogo y cooperación entre los distintos actores, facilitando el intercambio de conocimientos, experiencias y recursos para impulsar la innovación y el desarrollo de soluciones conjuntas. Esta colaboración multiactor será clave para superar los desafíos existentes en la gestión del PET y construir un futuro más sostenible y resiliente en Manizales

10. Seguimiento y Evaluación: *“Evaluando nuestro progreso”*

Para garantizar la efectividad de nuestras acciones y el cumplimiento de nuestros objetivos, es crucial establecer un sistema de seguimiento y evaluación que nos permita medir y analizar constantemente nuestro progreso en la gestión del PET en Manizales. En primer lugar, identificaremos indicadores de rendimiento clave relacionados con la cantidad de PET reciclado, la reducción de residuos plásticos, la implementación de prácticas sostenibles por parte de las empresas y otros aspectos relevantes. Estos indicadores nos permitirán monitorear el impacto de nuestras acciones y realizar evaluaciones regulares para identificar áreas de mejora y ajustar nuestras estrategias según sea necesario. Además, estableceremos mecanismos para recopilar datos y realizar análisis periódicos de manera sistemática, utilizando herramientas y tecnologías adecuadas para garantizar la precisión y confiabilidad de la información. Asimismo,

promoveremos la transparencia y la rendición de cuentas al informar regularmente sobre nuestros avances a la comunidad, las autoridades locales y otros actores relevantes. Esta labor de seguimiento y evaluación será fundamental para garantizar que nuestras acciones sean efectivas y contribuyan significativamente a la gestión sostenible del PET en Manizales

11. Incentivos para la Economía Circular: “Incentivando el cambio”

Para fomentar la adopción de prácticas de economía circular y reciclaje de PET entre las empresas en Manizales, implementaremos un conjunto de incentivos fiscales y financieros que reconozcan y recompensen el compromiso con la sostenibilidad ambiental. Estos incentivos pueden incluir exenciones fiscales para empresas que implementen prácticas de reciclaje y reutilización de PET, subsidios para la adquisición de equipos y tecnologías sostenibles, y préstamos preferenciales con tasas de interés reducidas para proyectos que promuevan la economía circular. Además, estableceremos programas de certificación y reconocimiento para empresas que demuestren un alto nivel de compromiso con la gestión sostenible del PET, lo que les brindará visibilidad y reputación en el mercado. Estos incentivos no solo ayudarán a reducir los costos de adopción de prácticas sostenibles para las empresas, sino que también crearán un ambiente propicio para la innovación y el desarrollo de soluciones ambientales en la ciudad. Al mismo tiempo, incentivaremos a las empresas a adoptar un enfoque proactivo hacia la gestión de residuos y promoveremos una cultura empresarial orientada hacia la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en Manizales

12. Participación Ciudadana: “Participando juntos por un futuro sostenible”

Para garantizar el éxito de nuestras iniciativas de gestión sostenible del PET en

Manizales, es fundamental involucrar activamente a la comunidad en todas las etapas del proceso. Implementaremos estrategias para fomentar la participación ciudadana en la toma de decisiones y la implementación de acciones concretas relacionadas con la recolección selectiva y el reciclaje de PET. Organizaremos campañas de sensibilización y educación ambiental dirigidas a la comunidad en general, con el objetivo de aumentar la conciencia sobre la importancia del reciclaje y la separación adecuada de residuos. Además, estableceremos programas de participación comunitaria que brinden a los ciudadanos la oportunidad de contribuir activamente a la gestión de residuos, como voluntariado en eventos de limpieza y reciclaje, programas de intercambio de materiales reciclables por incentivos, y capacitación en prácticas sostenibles de gestión de residuos. También promoveremos la colaboración entre diferentes grupos comunitarios, como escuelas, universidades, organizaciones sin fines de lucro y empresas locales, para trabajar juntos en proyectos de reciclaje y sensibilización ambiental. Al involucrar a la comunidad de manera activa y significativa, fortaleceremos el sentido de pertenencia y responsabilidad ambiental en Manizales y crearemos una cultura de participación ciudadana en la gestión sostenible del PET.

13. Transparencia y Comunicación: *“Comunicando nuestro progreso”*

Para garantizar la transparencia y comunicación efectiva en nuestra gestión de residuos sólidos, implementaremos un enfoque integral que involucre a todas las partes interesadas clave. Estableceremos canales de comunicación abiertos y accesibles para que los ciudadanos, las empresas, las autoridades locales y otras organizaciones puedan acceder fácilmente a información relevante sobre nuestros esfuerzos para avanzar hacia una economía circular en la gestión del PET. Utilizaremos una variedad de medios de comunicación, incluyendo redes

sociales, sitios web, boletines informativos y reuniones públicas, para difundir actualizaciones regulares sobre nuestro progreso, incluidos los logros alcanzados, los desafíos encontrados y las próximas acciones planificadas. Además, facilitaremos espacios de diálogo y consulta donde las partes interesadas puedan expresar sus opiniones, hacer preguntas y contribuir con ideas y sugerencias para mejorar nuestra gestión de residuos sólidos. A través de esta comunicación transparente y bidireccional, promoveremos la confianza y el compromiso de la comunidad en nuestros esfuerzos para lograr una gestión sostenible del PET en Manizales

Este plan de acción busca integrar los aspectos de reducción, reutilización, reciclaje y valorización energética en la gestión de residuos PET, además de fomentar la colaboración entre todos los actores involucrados. Es fundamental contar con el apoyo de la comunidad, el sector privado y el gobierno local para implementar eficazmente estas estrategias y avanzar hacia una economía circular sostenible en Manizales.

La implementación de este ambicioso plan de acción en Manizales se presenta como una respuesta esencial a las problemáticas asociadas con el plástico PET. La ciudad enfrenta desafíos significativos en la gestión de estos residuos, destacando la necesidad urgente de estrategias sólidas y sostenibles.

La adopción de este plan de acción no solo aliviaría la carga medioambiental que enfrenta la ciudad, sino que también proporcionaría beneficios económicos. La promoción de la economía circular impulsaría la creación de empleo en sectores como el reciclaje y la gestión de residuos. Además, al fomentar prácticas empresariales sostenibles, se abrirían oportunidades para la

innovación y la inversión en tecnologías avanzadas.

A nivel municipal, la implementación exitosa del plan fortalecería la posición de Manizales como líder en prácticas de gestión de residuos sostenibles. Esto no solo tendría un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes, al reducir la contaminación y mejorar la salud pública, sino que también atraería la atención y apoyo de otras ciudades interesadas en replicar estas estrategias.

A nivel nacional, Manizales podría convertirse en un modelo para el manejo sostenible de residuos plásticos. Contribuiría al cumplimiento de objetivos nacionales en términos de reducción de residuos y promoción de la economía circular, alineándose con las metas establecidas por el gobierno colombiano.

Además, este plan de acción no solo aborda la problemática inmediata del plástico PET en Manizales, sino que también establece las bases para un futuro más sostenible, beneficiando tanto a nivel local como nacional. Su implementación no solo es vital para la salud ambiental de la ciudad, sino que también presenta oportunidades económicas y posiciona a Manizales como un referente en la gestión sostenible de residuos en Colombia.

En respuesta a la problemática ambiental asociada al plástico PET, se han explorado diversas alternativas que podrían sustituir su uso en diferentes aplicaciones. Entre las alternativas más comunes se encuentran las latas, los bioplásticos, el tetra pak y el vidrio. Sin embargo, cada una de estas opciones presenta sus propios desafíos y limitaciones.

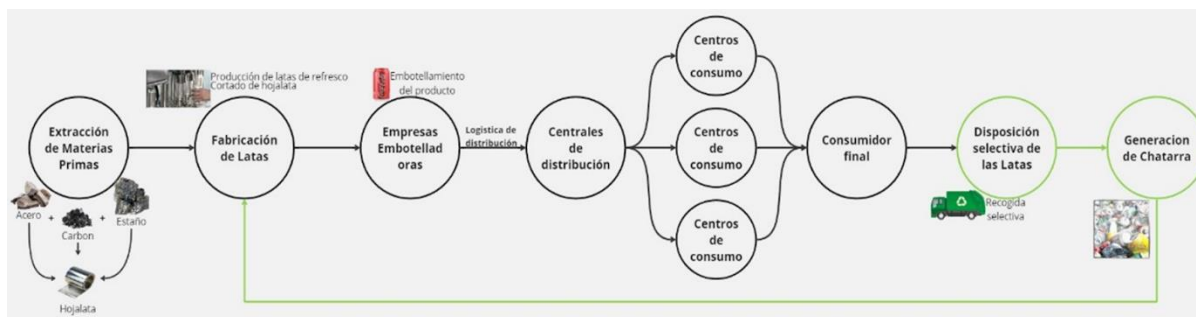


Figura 13 Ciclo de Vida Latas. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

Las latas, fabricadas principalmente de aluminio o acero, son una alternativa popular para el envasado de bebidas, especialmente en la industria de las bebidas carbonatadas. Aunque las latas son reciclables y tienen un menor impacto ambiental en términos de producción en comparación con el plástico PET, su fabricación requiere una cantidad considerable de energía y recursos naturales.

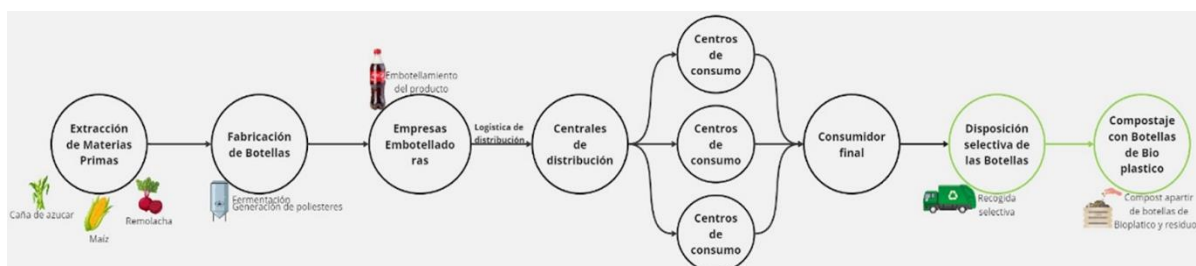


Figura 14 Ciclo de Vida Bioplástico. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

Los bioplásticos, fabricados a partir de fuentes renovables como almidón de maíz, caña de azúcar o almidón de patata, se promocionan como una alternativa ecológica al plástico convencional. Sin embargo, la producción de bioplásticos también puede tener un impacto negativo en el medio ambiente, especialmente si compite con la producción de alimentos o si requiere grandes extensiones de tierra para el cultivo de materias primas.

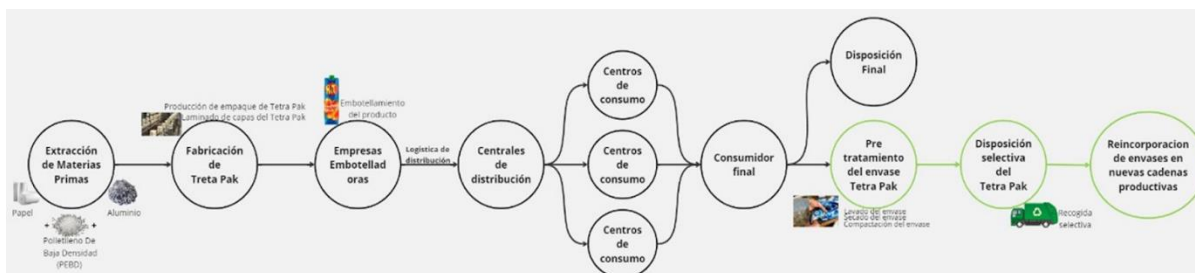


Figura 15 Ciclo de Vida Tetra Pak. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

El Tetra Pak, un material compuesto principalmente por papel, plástico y aluminio es ampliamente utilizado para envasar productos como leche, jugos y otros líquidos. Si bien el Tetra Pak es reciclable, su compleja composición dificulta su procesamiento y reciclaje, lo que limita su capacidad para ser una solución ambientalmente sostenible.

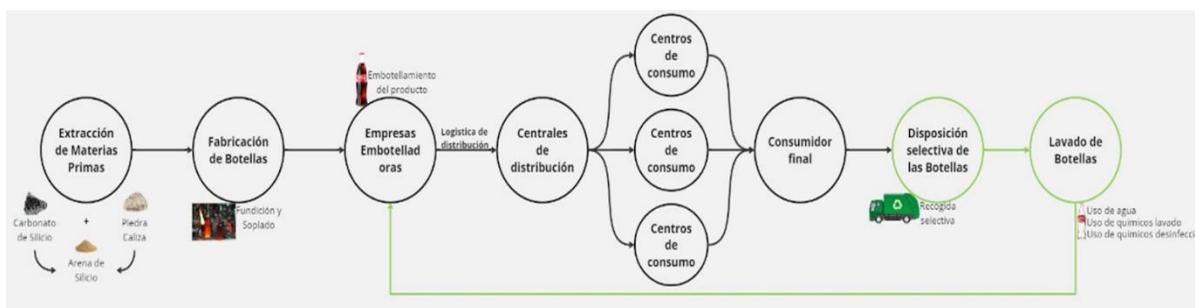


Figura 16 Ciclo de Vida Vidrio. Fuente: Elaboración Propia. 2024.

Por otro lado, el vidrio es una alternativa que se considera más sostenible en términos ambientales, ya que es completamente reciclable y puede reutilizarse múltiples veces sin perder calidad. Sin embargo, el vidrio también tiene desventajas, como su peso y fragilidad, lo que puede aumentar los costos de transporte y manipulación.

En nuestro trabajo, creemos que la mejor solución para abordar la problemática del plástico PET no es necesariamente reemplazarlo con otro material, sino gestionarlo de manera eficiente y sostenible. Esto implica implementar prácticas de reciclaje efectivas, promover la reutilización de productos de plástico y fomentar la economía circular para minimizar el impacto ambiental del plástico PET y maximizar su valor como recurso. Al gestionar adecuadamente el plástico PET, podemos reducir la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos y océanos, y contribuir a la conservación del medio ambiente para las generaciones futuras.

CONCLUSIONES

- Tras un análisis de los actores involucrados en la gestión de residuos plásticos PET, se identificaron empresas, autoridades locales, organizaciones de reciclaje y la comunidad en general como partes interesadas clave. Este conocimiento detallado de los actores permitió establecer alianzas estratégicas y colaboraciones efectivas para implementar soluciones sostenibles en la gestión de residuos. El principal problema identificado en este proceso es la mala gestión del PET.
- El análisis normativo reveló la existencia de regulaciones locales relacionadas con la producción, aprovechamiento y disposición final del plástico PET. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora en las políticas gubernamentales para promover la economía circular y establecer metas claras de reciclaje y reducción de residuos. Es fundamental revisar y actualizar las regulaciones para fomentar prácticas sostenibles en la gestión del plástico PET. El principal desafío identificado en este ámbito es garantizar una implementación efectiva de las regulaciones existentes.
- La gestión efectiva de los residuos plásticos PET requiere colaboración entre empresas, autoridades locales, organizaciones de reciclaje y la comunidad. Esta sinergia de esfuerzos es clave para implementar soluciones sostenibles y abordar el principal problema del PET, que es su mala gestión. Es fundamental establecer una colaboración activa y continua entre todos los actores involucrados para lograr una gestión integral y efectiva de los residuos plásticos PET y avanzar hacia un futuro más sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldeResiduosSolidos/POLITICA_NACIONAL_DE_GESTION_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_15_06_2016.pdf

Observatorio de la Economía Circular. (2020). Economía circular en Colombia. <https://www.oekonomiacircular.org/economia-circular-en-colombia/>

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipio de Manizales. (2018). <https://www.manizales.gov.co/Portals/0/Documentos/PGIRS%20Municipio%20de%20Manizales.pdf>

Restrepo, J. (2019). El reto del reciclaje de botellas PET. *Revista Catorce6*. <https://www.catorce6.com/especiales/el-reto-del-reciclaje-de-botellas-pet>

Rodríguez, N. A., & Gómez, M. D. P. (2019). Análisis del uso de botellas de PET y su impacto ambiental en la Universidad de Caldas. *Revista Científica de Administración, Economía y Negocios*, 3(6), 1-14. <https://doi.org/10.23850/25879028.1830>

Universidad Nacional de Colombia. (2021). Estructura de la economía circular. <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/estructura-de-la-economia-circular/>

Página web oficial de Enka de Colombia SA: Enka de Colombia SA. (s.f.). Enka de Colombia. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <http://www.enka.com.co/>

Información de la empresa en el sitio web de la Bolsa de Valores de Colombia: Bolsa de Valores de Colombia. (s.f.). Enka de Colombia SA. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de

https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/BVC/Perfil-Emisor/Otro_Perfil_Emisor.aspx?isin=COENKAC00017

Información de la empresa en el sitio web de la Superintendencia de Sociedades de Colombia: Superintendencia de Sociedades. (2018). Informe sectorial textil y confecciones. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de

<https://www.supersociedades.gov.co/EstudiosSectoriales/Informes%20Sectoriales/Informe%20Sectorial%20Textil%20y%20Confecciones.pdf>

Informe de sostenibilidad de Enka de Colombia SA (2020): Sustainalytics. (2020). Enka de Colombia SA ESG report 2020. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de

<https://www.sustainalytics.com/es/client-resources/esg-report-library/enka-de-colombia-sa-esg-report-2020/>

Informe de huella de carbono de Enka de Colombia SA (2019): Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). Enka de Colombia S.A.S. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de

<https://www.ideam.gov.co/documents/20186/4716616/Enka+de+Colombia+S.A.S.pdf/b5c5fb8e-8575-77d5-7ca5-2cfd8d0e8821>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: esta entidad gubernamental tiene información estadística sobre la producción y gestión de residuos en Colombia, incluyendo el plástico PET. Puedes acceder a ella en su sitio web oficial:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/produccion-y-consumo-sostenible/residuos-solidos>.

Sistema Nacional de Información Ambiental: este sistema es administrado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y tiene información estadística sobre diversos aspectos ambientales, incluyendo la gestión de residuos. Puedes acceder a él en su sitio web

oficial: <https://snia.minambiente.gov.co/snia/>.

Dane: el Departamento Administrativo Nacional de Estadística tiene información estadística sobre diversos aspectos socioeconómicos de Colombia, incluyendo la producción y consumo de plástico. Puedes acceder a ella en su sitio web oficial:

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambiente-y-desarrollo-sostenible/produccion-y-consumo-sostenible>.

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI): esta asociación tiene información estadística sobre diversos sectores empresariales en Colombia, incluyendo el sector del plástico. Puedes acceder a ella en su sitio web oficial:

<https://www.andi.com.co/Contenido/Estudios-y-publicaciones/Estudios-y-publicaciones>.

Gremio Colombiano de la Industria del Plástico (Acoplásticos): esta entidad tiene información estadística sobre el sector del plástico en Colombia, incluyendo el PET. Puedes acceder a ella en su sitio web oficial: <https://www.acoplasticos.org/>.

Acoplásticos. (s.f.). Gremio Colombiano de la Industria del Plástico. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://www.acoplasticos.org/>

Bolsa de Valores de Colombia. (s.f.). Enka de Colombia SA. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de [https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/BVC/Perfil-](https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/BVC/Perfil-Emisor/Otro_Perfil_Emisor.aspx?isin=COENKAC00017)

[Emisor/Otro_Perfil_Emisor.aspx?isin=COENKAC00017](https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/BVC/Perfil-Emisor/Otro_Perfil_Emisor.aspx?isin=COENKAC00017)

Dane. (s.f.). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambiente-y-desarrollo-sostenible/produccion-y-consumo-sostenible>

Enka de Colombia SA. (s.f.). Enka de Colombia. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <http://www.enka.com.co/>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Informe de huella de carbono de Enka de Colombia SA (2019). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://www.ideam.gov.co/documents/20186/4716616/Enka+de+Colombia+S.A.S.pdf/b5c5fb8e-8575-77d5-7ca5-2cfd8d0e8821>

Informe de sostenibilidad de Enka de Colombia SA (2020). Sustainalytics. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://www.sustainalytics.com/es/client-resources/esg-report-library/enka-de-colombia-sa-esg-report-2020/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelosResiduosSolidos/POLITICA_NACIONAL_DE_GESTION_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_15_06_2016.pdf

Observatorio de la Economía Circular. (2020). Economía circular en Colombia. Recuperado de <https://www.oekonomiacircular.org/economia-circular-en-colombia/>

Página web oficial de Enka de Colombia SA. (s.f.). Enka de Colombia. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <http://www.enka.com.co/>

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipio de Manizales. (2018). Recuperado de <https://www.manizales.gov.co/Portals/0/Documentos/PGIRS%20Municipio%20de%20Manizales.pdf>

Restrepo, J. (2019). El reto del reciclaje de botellas PET. *Revista Catorce6*. Recuperado de <https://www.catorce6.com/especiales/el-reto-del-reciclaje-de-botellas-pet>

Rodríguez, N. A., & Gómez, M. D. P. (2019). Análisis del uso de botellas de PET y su impacto ambiental en la Universidad de Caldas. *Revista Científica de Administración, Economía y Negocios*, 3(6), 1-14. <https://doi.org/10.23850/25879028.1830>

Superintendencia de Sociedades. (2018). Informe sectorial textil y confecciones. Recuperado el 28 de marzo de 2023, de <https://www.supersociedades.gov.co/EstudiosSectoriales/Informes%20Sectoriales/Informe%20Sectorial%20Textil%20y%20Confecciones.pdf>

Universidad Nacional de Colombia. (2021). Estructura de la economía circular. Recuperado de <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/estructura-de-la-economia-circular/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). En su sitio web oficial, esta entidad gubernamental proporciona información estadística sobre la producción y gestión de residuos en Colombia, incluyendo el plástico PET. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/produccion-y-consumo-sostenible/residuos-solidos>

Sistema Nacional de Información Ambiental. (s.f.). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://snia.minambiente.gov.co/snia/>

Echajaya Murcia, D. A. (2021). Transformación del paisaje rural y los sistemas socioecológicos en el piedemonte llanero colombiano (Tesis de maestría). Universidad del Rosario. Recuperado de <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/10336/33176/2/EchajayaMurcia-DavidAlejandro-1-2021.pdf>

Universidad del Rosario. (s.f.). Análisis de los cambios en los usos del suelo en el piedemonte llanero colombiano (Documento de trabajo No. 28). Recuperado de

<https://repository.urosario.edu.co/bitstreams/088b5ab4-e941-4c24-85bf-3f6364f74e6b/download>

Ministerio de Salud de Colombia. (1997). Decreto 3075 de 1997. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 99 de 1993 en lo relacionado con la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. Recuperado de

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Disposición de residuos de sustancias agotadoras de la capa de ozono y de gases efecto invernadero controlados por el Protocolo de Montreal y el Protocolo de Kioto. Recuperado de

<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/disposicion-de-residuos-de-sao/>

Corpocaldas. Recuperado de <https://www.corpocaldas.gov.co>

Universidad del Rosario. (s.f.). Análisis de los cambios en los usos del suelo en el piedemonte llanero colombiano (Documento de trabajo No. 28). Recuperado de

<https://repository.urosario.edu.co/bitstreams/c3f7c392-ae21-4b63-b310-646162b7f526/download>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). El desarrollo sostenible y sus vínculos con la economía circular en América Latina y el Caribe. Recuperado de

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46988/4/S2100326_es.pdf

Cabrera, J. A. (2016). Diseño de un modelo de costos para la empresa Surtigas (Trabajo de grado). Universidad de Cartagena. Recuperado de

<https://core.ac.uk/download/pdf/71420401.pdf>

Universidad del Rosario. (s.f.). Análisis de los cambios en los usos del suelo en el piedemonte llanero colombiano (Documento de trabajo No. 28). Recuperado de

<https://repository.urosario.edu.co/bitstreams/088b5ab4-e941-4c24-85bf-3f6364f74e6b/download>

Función Pública. (s.f.). Decreto 5542 de 2015. Por el cual se reglamenta la Ley 1712 de 2014 sobre el derecho de acceso a la información pública. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>

Fröbel, F., Heinrichs, J., & Kreye, O. (2018). Estrategias para una economía sostenible: De los objetivos a los instrumentos (2da ed.). Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de La Salle. Recuperado de <https://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/fce-unisalle/20180225093550/estrategiasen.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (1997). Decreto 3075 de 1997. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 99 de 1993 en lo relacionado con la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. Recuperado de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. [World Bank Group](#)

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. [Science advances, 3\(7\), e1700782](#)

Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., & Colomer-Mendoza, F. J. (2021). Life cycle assessment of the recycling of post-consumer PET bottles in Spain. [Journal of Cleaner Production, 279, 123682](#)

Geyer, R., & Lavender Law, K. (2017). Break free from plastic: A global movement towards environmental solutions. [GAIA](#)

Kaza, S., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste: a global review of solid waste management. [World Bank Group](#)

Geyer, R., & Lavender Law, K. (2018). The Chinese import ban and its impact on global

plastic waste trade. [Science advances, 4\(6\), eaat0131](#)

Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., & Colomer-Mendoza, F. J. (2021). Life cycle assessment of the recycling of post-consumer PET bottles in Spain. [Journal of Cleaner Production, 279, 123682](#)

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. [Science, 347\(6223\), 768-771](#)

Bovea, M. D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., & Colomer-Mendoza, F. J. (2021). Life cycle assessment of the recycling of post-consumer PET bottles in Spain. [Journal of Cleaner Production, 279, 123682](#)

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2018). Production, use, and fate of all plastics ever made. [Science advances, 4\(7\), eaaq0234](#)

Gómez, J. D., & Pardo, C. (2021). Análisis de la cadena de valor del plástico tereftalato de polietileno en Colombia: estrategias para su gestión sostenible en el marco de la economía circular. [Revista de Investigación Académica, 1\(1\), 1-15¹](#)

García, M. A., & Torres, M. (2022). Análisis de la gestión integral de residuos sólidos urbanos en Colombia: una revisión sistemática. [Revista de Investigación Científica, 2\(1\), 1-10²](#)

González, J. A., & Ramírez, L. (2023). Impacto ambiental del PET en Colombia: una revisión sistemática. [Revista de Investigación Ambiental, 3\(1\), 1-12³](#)

Hernández, J. A., & Gómez, C. (2023). Estrategias de economía circular para la gestión sostenible de residuos sólidos urbanos en Colombia. [Revista de Investigación Ambiental, 3\(2\), 1-14⁴](#)

Duitama, K. P. (2023, 20 diciembre). Así transforman las empresas su material posconsumo en elementos de madera plástica. *Diario La República*.

<https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/asi-transforman-las-empresas-su-material-posconsumo-en-elementos-de-madera-plastica-3770034>

Plan nacional para la Gestión Sostenible de los plásticos de un solo Uso. minambiente. (2022). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/plan-nacional-para-la-gestion-sostenible-de-plasticos-un-solo-uso-minambiente.pdf>

ANEXO

ANEXO 1: MATRIZ DE REQUISITOS LEGALES

https://drive.google.com/file/d/1P_Xyusc7G6late-rbb9vkhLub1E1ZzcY/view?usp=drivesdk



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6)8 93 30 50 - www.ucm.edu.co