

TRABAJO FIN DE MASTER

Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión

Cálculo de la huella de carbono en la empresa pública-privada (Mixta) de prestación de servicio de acueducto y alcantarillado EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño-Colombia

Alumno: Danilo Alejandro Enríquez Santacruz

Tutor: Alejandra Vidales Barriguete

Madrid, 2025

TRABAJO FIN DE MASTER

Cálculo de la huella de carbono en la empresa pública-privada (Mixta) de prestación de servicio de acueducto y alcantarillado EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño-Colombia

Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión

Alumno: Danilo Alejandro Enríquez Santacruz

TUTOR: Alejandra Vidales Barriguete

Madrid, 2025

Dedicatoria

A mi abuelita Irene Ibarra que siempre ha sido mi mano y motivación para seguir adelante. A mis padres Janeth Santacruz y Víctor Enríquez por siempre ser un ejemplo para mí de constancia y perseverancia. A mis hermanos Yussed y Yazid Amir por su amor y apoyo.

A mis tías Milena y Anyela Santacruz, que siempre han estado presente y apoyándome incondicionalmente, porque a pesar de la distancia siempre los tengo en mi corazón.

A ese angelito de la guarda que siempre me cuida Gelacio Santacruz.

Agradecimientos

A la empresa EMPOPASTO S.A por brindarme las facilidades y la información para realizar este trabajo de maestría. Al Ing. Mg. Hugo Gómez por su guía en este trabajo y su experticia en estos temas desde el campo laboral. A Alejandra Vidales Barriguette por su asesoría y acompañamiento, por compartir conmigo su conocimiento.

Tabla de contenido

Resumen	12
Introducción	14
1. Justificación.....	16
2. Objetivos	17
2.1. Objetivo general	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. Estado del Arte	18
4. Marco teórico	22
4.1. Huella de carbono	22
4.2. Medición de la huella de carbono.....	23
5. Metodología	24
5.1. Alcance y límites de la huella de carbono en la institución.....	29
5.2. Alcance de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	29
5.3. Identificación de las fuentes de emisión.....	30
5.4. Recolección de datos	30
5.5. Cálculo de las emisiones.....	31
5.6. Análisis del cálculo de las emisiones	31
5.7. Diseño de estrategias de mitigación y reducción de emisiones.....	31
5.8. Seguimiento y reporte.....	32
5.9. Certificación	32
6. Resultados y discusión	33

6.1.	Caracterización de la organización en relación a sus actividades operativas.....	33
6.1.1.	Estructuras administrativas de EMPOPASTO S.A.....	33
6.1.2.	Actividades operativas de EMPOPASTO S.A.....	36
6.1.3.	Actividades administrativas de EMPOPASTO S.A.....	36
6.1.4.	Otras fuentes de emisión	37
6.2.	Aplicación de la metodología estandarizada para el cálculo de la huella de carbono..	42
6.2.1.	Para el alcance 1	42
6.2.2.	Para el alcance 2	46
6.2.3.	Para el alcance 3.....	48
6.3.	Elaboración de estrategias de gestión para la reducción de la huella de carbono en EMPOPASTO	56
6.3.1.	Estrategia de tecnología sin zanja: instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado.	59
6.3.2.	Estrategia aprovechamiento de energía hidroeléctrica: instalación de una turbina que aproveche el exceso de presión de entrada del agua.	60
6.3.3.	Estrategia aprovechamiento de energía fotovoltaica: implementación de sistemas de paneles solares para la generación de energía.	63
6.3.4.	Estrategia sustitución de iluminarias: nuevas iluminarias LED.....	64
	Conclusiones	68
	Recomendaciones.....	70

Lista de tablas

Tabla 1. Fuentes de emisión de GEI del sector institucional	25
Tabla 2. Caracterización de vehículos en EMPOPASTO.....	37
Tabla 3. Consumo de papel, vigencia 2024	38
Tabla 4. Trayectos, vigencia 2024	40
Tabla 5. Caracterización bolsas plásticas.....	41
Tabla 6. Emisiones de fuentes fijas.....	43
Tabla 7. Emisiones de fuentes móviles	44
Tabla 8. Emisiones de energía eléctrica.....	46
Tabla 9. Emisiones indirectas	49
Tabla 10. Emisiones indirectas en el transporte aéreo	50
Tabla 11. Consolidado de emisiones generadas por EMPOPASTO S.A.	51
Tabla 13. Plan de acción- estrategia de tecnología sin zanja	60
Tabla 14. Plan de acción- estrategia de aprovechamiento de energía hidroeléctrica.....	62
Tabla 15 Plan de acción- estrategia de aprovechamiento de energía fotovoltaica.....	63
Tabla 16. Plan de acción- estrategia sustitución de luminarias.....	65
Tabla 17. Plan de acción – estrategia ahorro de papel	66

Lista de gráficas

Gráfica 1. Demanda energética del año 2024.	47
Gráfica 2. Consolidado de emisiones por mes.....	54
Gráfica 3. Huella de carbono	55

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de Procesos de la empresa EMPOPASTO S.A.	35
Figura 2. Organigrama de EMPOPASTO S.A.	35
Figura 3. Estrategias para la reducción de la huella de carbono.	58

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Emisiones totales para transporte terrestre por carretera	26
Ecuación 2. Cálculo del factor de emisión.....	26
Ecuación 3 Emisiones totales por consumo energético	26
Ecuación 4. Emisiones de transporte aéreo.....	27
Ecuación 5 Emisiones de CO ₂	27
Ecuación 6. Emisiones de CH ₄	27
Ecuación 7. Emisiones de N ₂ O	28
Ecuación 8. Emisiones totales para consumo de materia prima	28

Resumen

La presente investigación se desarrolló en la Empresa Pública-Privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto-Nariño, Colombia donde se llevó a cabo el cálculo de la huella de carbono aplicando la metodología del GreenHouse Gas Protocol (GHG) en sus tres alcances. En primer lugar, se caracterizaron las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en las actividades operativas y administrativas de la entidad. Posterior a ello se aplicó el GHG Protocol para elaborar estrategias de gestión para mitigar las emisiones de GEI y así reducir la huella de carbono. Se encontró que el alcance 2 obtuvo los niveles más altos de emisiones debido a la alta demanda de energía eléctrica adquirida que necesita la organización para desarrollar sus actividades diarias.

Por esta razón, en el objetivo 3 se propusieron estrategias de reducción de la huella de carbono para el alcance 2 planteando el aprovechamiento de energías renovables, aprovechando la energía hidroeléctrica con el potencial de llegar a reducir la mitad de la demanda energética eléctrica y mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos aprovechando los espacios de las instalaciones físicas, lo que se traduce en reducción de emisiones y costos.

Palabras clave: emisiones directas, emisiones indirectas, estrategias de reducción, GEI, huella de carbono.

Abstract

This research was carried out in the public-private (mixed) water and sanitation service provider EMPOPASTO in the city of San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, where the carbon footprint was calculated by applying the GreenHouse Gas Protocol (GHG) methodology in its three scopes; first, greenhouse gas (GHG) emissions in the entity's operational and administrative activities were characterized.

Subsequently, the GHC Protocol was applied to develop management strategies to mitigate GHG emissions and thus reduce the carbon footprint. It was found that Scope 2 obtained the highest levels of emissions due to the high demand for purchased electricity, which the organization needs to develop its daily activities. For this reason, in objective 3, carbon footprint reduction strategies were developed for scope 2, proposing the use of renewable energies, taking advantage of hydroelectric energy with the potential to reduce half of the electrical energy demand and the implementation of photovoltaic systems taking advantage of the spaces of the physical facilities, which translates into a reduction of emissions and costs.

Keywords: carbon footprint, direct emissions, GHG, indirect emissions, reduction strategies.

Introducción

En la actualidad, el cambio climático se ha convertido en uno de los retos más importantes y urgentes a los que se enfrenta el planeta el cual claramente se agrava con las actividades antrópicas destacando aquellas que involucran la quema de combustibles fósiles (Morote & Olcina, 2023). Por ello, las empresas públicas, privadas y mixtas tienen un papel importante en cuanto a la reducción de sus impactos ambientales, tomando medidas de mitigación que contribuyan a la formulación de modelos más sostenibles.

Entre estas medidas se encuentra el cálculo de la huella de carbono que se ha convertido en una herramienta fundamental para conocer, medir y controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en cada uno de los procesos que se adelantan en las organizaciones. Por ello, la medición de la Huella de Carbono (HdC) se presenta como una de las herramientas clave para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las empresas, proporcionando un punto de partida para implementar estrategias, tanto internas como externas, destinadas a mitigar los efectos del cambio climático (Páez et al, 2016).

En este sentido, la Empresa de Prestación de Servicio de Agua Potable Y Saneamiento EMPOPASTO ubicada en la ciudad de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, tiene la responsabilidad de brindar un servicio óptimo en cuanto al suministro de agua potable y saneamiento básico a toda la ciudad a través de la distribución de redes de acueducto y alcantarillado que sectorizan a la ciudad en dos sectores (Centenario y Mijitayo) y por ello, también incide en la emisión de GEI durante sus actividades operativas.

Se considera interesante, por tanto, que la empresa EMPOPASTO realice el cálculo de la huella de carbono para que evalúe sus emisiones y fuentes, ya sean directas o indirectas. Es por esto que el cálculo de la huella de carbono le permitirá evaluar estas emisiones y sus fuentes, ya sean directas o indirectas. De esta manera, podrá tomar acciones en materia de sostenibilidad para así determinar actividades de mitigación para reducir su huella tomando

como principio las políticas nacionales e internacionales en estos aspectos. Así mismo, contribuirá a la lucha mundial contra el cambio climático a la vez que busca el cumplimiento ayudando así con la lucha mundial contra el cambio climático a su vez que se busca el cumplimiento de los compromisos ambientales, promoviendo una gestión eficiente y responsable de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico que es la base de sus actividades garantizando así un futuro sostenible para las próximas generaciones.

1. Justificación

En el presente trabajo fin de Máster, se propone calcular la huella de carbono de una organización público-privada encargada de la prestación de servicios de agua y saneamiento cuyo objetivo busca facilitar la cuantificación de los gases de efecto invernadero (GEI) generados, tanto de manera directa como indirecta, por la organización, considerando los objetivos y actividades que lleva a cabo en la misma, donde el análisis de la huella de carbono ofrecerá un dato clave que servirá como un indicador ambiental global de las operaciones de la organización, además de constituir una referencia básica para la implementación de acciones de reducción de emisiones.

Por tanto, este estudio resulta particularmente relevante para las empresas prestadoras de servicios de agua y saneamiento básico debido a las complejidades de sus operaciones, que incluyen actividades como la captación, tratamiento y distribución de agua, actividades que generan un impacto significativo en términos de consumo energético, lo cual contribuye de manera considerable a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, el cambio climático es un desafío urgente para estas empresas, ya que puede derivar en fenómenos climáticos extremos como sequías e inundaciones, afectando la disponibilidad y calidad del agua. Se estima que estas empresas consumen entre el 1% y el 2% del total de la energía primaria mundial, alcanzando hasta el 6% de consumo energético en conjunto, según (WaCClim, 2018).

Ante este panorama, resulta decisivo que las organizaciones de agua y saneamiento transiten hacia operaciones con bajas emisiones de carbono donde el primer paso en este proceso es la medición de la huella de carbono mediante una metodología adecuada, lo cual permitirá evaluar y formular estrategias de gestión para reducir sus emisiones. A largo plazo, el objetivo es alcanzar una carbono neutralidad en sus actividades, contribuyendo así a un sector con menores impactos ambientales y alineado con las metas globales de sostenibilidad.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo general de este Trabajo Fin de Máster es calcular la huella de carbono en la empresa pública-privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño, Colombia.

2.2. Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las emisiones de la organización en relación a sus actividades operativas y administrativas en la empresa pública-privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño, Colombia.
- Calcular la huella de carbono generada por las actividades operativas y administrativas de acuerdo a los tres alcances del GHC Protocol en la empresa pública-privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño, Colombia.
- Elaborar estrategias de gestión para la reducción de la huella de carbono de la empresa pública-privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño, Colombia.

3. Estado del Arte

En el ámbito internacional, Goyanes (Goyanes, 2014), en su investigación titulada “diseño y validación de un procedimiento de cálculo de la huella de carbono en una administración local” tuvieron como objetivo general diseñar y validar un procedimiento de cálculo, adaptado a la singularidad de las administraciones locales, que permita utilizar la huella de carbono, como indicador del impacto de las actuaciones de la administración local, sobre el medio ambiente.

Como resultados presentaron las ventajas y desventajas de cada uno de ellos como indicadores, conceptos de huella ecológica y huella de carbono; así mismo se recogió mediante el análisis de varios estudios científicos sobre la huella ecológica y huella de carbono que proponen metodologías para su huella de carbono. Es así, como se describe el método de cálculo de la huella de carbono, detallando la metodología armonizada de la Comisión Europea. Que como resultado es un procedimiento de cálculo específico de la huella de carbono de una administración local y el proceso de validación de la metodología desarrollada con el fin de valorar la aplicabilidad del procedimiento de cálculo desarrollado y su cálculo de la huella de carbono correspondiente a un ayuntamiento.

León y López (León y López, 2022) en su investigación “cálculo de la huella de carbono y formulación de estrategias para la reducción de GEI en la empresa IMAQ- Perú” identificaron estrategias que permitieron la reducción de los gases de efecto invernadero asociados a la huella de carbono de la empresa, para ello, como primer paso realizaron la recolección de la información a través de la metodología de la huella de carbono del Min ambiente de Perú encontrando que el transporte propio fue el mayor emisor de GEI con 12ton de CO_{2eq}, a raíz de estos hallazgos, evaluaron la viabilidad de cada estrategias alineada a cada alcance donde tuvieron en cuenta la innovación, el tiempo de espera de implementación, la protección del medio ambiente y el beneficio social, estableciendo así que las más viables se centraron en la conversión de vehículos de gasohol a gas natural (cambio de combustible) y realizar

mantenimientos preventivos a los vehículos; para la reducción del consumo de energía se sugirió el teletrabajo, sustitución de luminarias, y cambio progresivo de los equipos de oficina.

En el contexto nacional según Beltrán Rodríguez (Beltrán Rodríguez, et al, 2021) en su investigación titulada “Cuantificación de la huella de carbono corporativa e identificación de medidas para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero para la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA” presentaron como objetivo general Cuantificar la huella de carbono de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales con año base 2017 e identificar las medidas para la reducción de emisiones de GEI de la entidad.

Los resultados que obtuvieron fue el cálculo de la huella de carbono de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) que está definido por las actividades generadoras de emisión de la entidad, incluyendo un análisis bottom-up que permita identificar la huella de carbono a nivel global y local de acuerdo con la infraestructura interna de la misma. Esto permitió identificar fuentes de emisión intrínsecas a los procesos operacionales de la empresa.

Dando lugar a los resultados esperados por parte de la entidad, se creó una calculadora de emisiones de GEI fundamentada en los principios operativos de otros proyectos de cuantificación de la huella de carbono, esta herramienta fue desarrollada en Microsoft Excel, que permite cuantificar las emisiones de GEI a nivel mensual o anual, permitiendo evaluar el comportamiento de las actividades generadoras de emisión de la ANLA a lo largo de un año, permitiendo que la cuantificación de las emisiones se pueda hacer en función de los límites organizacionales, los alcances de las emisiones y el año base seleccionado. Con la calculadora se presenta un consolidado de las emisiones de GEI para la información suministrada como variable de entrada.

Por otra parte, Cifuentes Castellanos (Cifuentes Castellanos, 2015) calculó la huella de carbono para el despacho regional distrito capital del SENA (Bogotá, Colombia) mediante la identificación de las fuentes de emisión de GEI que se asocian a cada uno de los distintos procesos que se llevan a cabo dentro de la institución; posterior a ello, recopiló datos

correspondientes a los consumos de energía eléctrica y combustibles para realizar el cálculo para dos años (año base y año comparativo) y finalmente realizó el respectivo análisis de información, con ello encontró que las emisiones en términos de toneladas de CO₂ incrementaron a raíz de la ampliación de la nueva flota de vehículos que presta el servicio de transporte de funcionarios. Con el procedimiento anterior, la entidad conoció sus fuentes generadoras de emisiones que contribuyen al aumento de GEI en sus actividades a través de la huella de carbono con el fin de realizar intervenciones que mitiguen estos impactos.

De igual manera, Martínez y Bustamante (Martínez, 2019) en su investigación, analizaron la huella de carbono solamente en los alcances 1 y 2 del GHG Protocol a través de la realización de un inventario de emisiones atmosféricas que le permitieron calcular la huella de carbono de la empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio, Meta, Colombia. Con los resultados determinaron que las mayores emisiones de la entidad se producen de manera indirecta en con 205,657 toneladas de CO_{2eq} y los combustibles fósiles por su parte (ACPM y gasolina) solo generaron 1,813 ton CO_{2eq}. Con estos índices formularon estrategias de mitigación y/o compensación que se enfocaron en prácticas de consumo sostenible, reforestación de cuencas con especies endémicas entre otras.

Además, existen otros indicadores ambientales a parte de la huella de carbono que permite medir o que tienen en cuenta la cantidad de gases de efecto invernadero, teniendo este indicador potencial del calentamiento global en otro indicador como es la huella ecológica que permite conocer el nivel del impacto de la sociedad en el medio ambiente. En este orden de ideas, en la región, Cuical Cabrera (Cuical, 2023) en su investigación denominada “Cálculo de la huella ecológica en la subsecretaría de economía regional y agua potable – plan departamental de agua de Nariño” se incluye un apartado de medición de huella del carbono como complemento a las actividades antrópicas y su efecto en la atmosfera, empelando metodologías existentes a través de revisión bibliográfica y utilizando factores de emisión para el cálculo de las emisiones, teniendo como objetivo general “Diseñar estrategias para la

mitigación de impactos ambientales negativos, a partir del cálculo de la Huella Ecológica de la dependencia Subsecretaría de Economía Regional y Agua Potable- Plan Departamental de Agua, de la Gobernación de Nariño.” teniendo como resultado un total de 103,27 emisiones de dióxido de carbono equivalente, la mayor contribución se reflejó en los hábitos de movilidad seguido de la energía eléctrica. Además, con esta investigación encontró que son necesarias 21,3 hectáreas globales para asimilar las emisiones de CO₂ de esta subsecretaria.

4. Marco teórico

Para establecer el cálculo de la huella de carbono en la empresa pública-privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño, Colombia, es necesario conocer ciertos términos que facilitan la comprensión del tema de investigación los cuales se explican a continuación:

Los gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3) y el vapor de agua, modifican la composición de la atmósfera terrestre al alterar el flujo natural de radiación infrarroja que absorbe la superficie, esto da lugar a un incremento de la temperatura del planeta, conocido como calentamiento global donde cualquier alteración en el equilibrio energético de la atmósfera puede desencadenar un cambio climático (Márquez Vera, 2020).

De esta manera, todos los procesos que se llevan a cabo dentro de una institución afectan de manera directa o indirecta en el incremento de estos GEI, en este marco se destaca principalmente el consumo energético de la compañía, los insumos que requiere para llevar a cabo sus actividades operativas en la planta y la interacción entre funcionarios y el medio en el que laboran, así, “las actividades humanas que se realizan implican consumo de energía y contribuyen a las emisiones a la atmósfera, en especial de CO_2 emitido en los procesos energéticos mundiales, siendo uno de los grandes problemas climáticos de la actualidad” (Domoterra, 2016 citado en Márquez Vera, 2020).

4.1. Huella de carbono

Es un indicador ambiental que cuantifica la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos, directa o indirectamente, a lo largo del ciclo de vida de una actividad, producto, organización o individuo, expresados en términos de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) (Franchetti & Apul, 2012). Este concepto abarca tanto las emisiones asociadas al consumo de

energía como aquellas originadas en procesos como la producción de bienes y servicios, así como las derivadas de transporte, tratamiento de residuos y cambio de uso del suelo.

Sirve como herramienta clave para evaluar y gestionar el impacto ambiental, permitiendo identificar áreas críticas donde se pueden implementar estrategias de mitigación. Su uso es fundamental en la transición hacia economías bajas en carbono y en la implementación de políticas públicas, como los compromisos establecidos en acuerdos internacionales sobre cambio climático, por ejemplo, el Acuerdo de París (Kiemel et al., 2022).

4.2. Medición de la huella de carbono

La medición de la Huella de Carbono (HdC) se presenta como una de las herramientas clave para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las empresas, proporcionando un punto de partida para implementar estrategias, tanto internas como externas, destinadas a mitigar los efectos del cambio climático.

Además de permitir un balance detallado de las emisiones de GEI y contribuir a la reducción de costos energéticos a través de acciones de mejora, la HdC desempeña un papel importante en el posicionamiento de las marcas. En un entorno donde los consumidores son cada vez más conscientes de los problemas ambientales, estas iniciativas ayudan a proyectar una imagen más responsable y sostenible. Esto se alinea con las tendencias descritas en la literatura sobre consumo responsable y el impacto de dichas acciones en la percepción del consumidor (Páez et al, 2016).

En términos de innovación, la medición de la HdC impulsa la búsqueda de soluciones tecnológicas y prácticas más eficientes, promoviendo la economía circular y la transición hacia modelos de negocio bajos en carbono. Además, la información obtenida a través de esta medición puede integrarse en reportes de sostenibilidad y en la comunicación de los compromisos climáticos de la empresa, reforzando su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y acuerdos globales como el Acuerdo de París.

5. Metodología

Existe una metodología para medir los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos, conocida como la huella de carbono. Esta se define como el resultado del impacto directo o indirecto generado por un individuo, organización, evento o producto. La medición de esta huella permite no solo cuantificar las emisiones, sino también implementar estrategias para su reducción y/o compensación mediante diversas actuaciones, tales como la optimización energética, el uso de tecnologías más limpias, la implementación de prácticas sostenibles y la inversión en proyectos de compensación de carbono, como la reforestación o el desarrollo de energías renovables (Márquez Vera, 2020).

La huella de carbono se ha consolidado como una herramienta de control fundamental para empresas y organizaciones que buscan adoptar comportamientos socialmente responsables, especialmente en sectores con elevado impacto ambiental, como la construcción, la industria manufacturera y el transporte. Este tipo de análisis no solo ayuda a mitigar el impacto climático, sino que también contribuye al cumplimiento de normativas ambientales, mejora la reputación corporativa y fomenta una transición hacia una economía más sostenible.

En este contexto, el *Protocolo GHG* (Greenhouse Gas Protocol) se posiciona como una referencia internacional ampliamente aceptada para calcular la huella de carbono. Esta metodología clasifica las emisiones de GEI en tres alcances principales:

Alcance 1: Emisiones directas generadas por fuentes controladas o poseídas por la organización (como el consumo de combustibles en maquinaria o vehículos propios).

Alcance 2: Emisiones indirectas provenientes del consumo de energía adquirida, como electricidad, vapor o calor.

Alcance 3: Emisiones indirectas derivadas de las actividades de la cadena de valor, incluyendo proveedores, transporte, disposición de residuos, viajes de negocio, entre otros (CAR Cundinamarca, 2013).

Esta metodología de cálculo de la huella de carbono no solo es una herramienta técnica, sino también estratégica, ya que facilita la integración de criterios ambientales en la planificación corporativa y en la toma de decisiones para el logro de economías bajas en carbono y la mejora de la competitividad global.

Para calcular la huella de carbono en una institución, es importante tener en cuenta las fuentes de emisión de GEI del sector, en este caso, las instalaciones de la empresa de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO en su sede Mijitayo y su sede Centenario tomando como referencia los tres alcances que aplican para este sector, tal como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Fuentes de emisión de GEI del sector institucional

Alcance	Fuente de emisión
1	Emisiones directas: Consumo de combustibles fósiles
	Consumo de refrigerantes
2	Consumo de energía eléctrica
	Otras emisiones indirectas
3	Consumo de materias primas e insumos
	Viajes de negocios

Fuente: CAR Cundinamarca, (2013)

De acuerdo con la guía y metodología empleada por el IPCC las ecuaciones necesarias para llevar a cabo el cálculo de la huella de carbono son las siguientes:

- **Alcance 1**

Para el cálculo de emisiones de transporte terrestre:

Ecuación 1 Emisiones totales para transporte terrestre por carretera

$$Emisión = \sum_a (combustible_a \times Fe_a)$$

Fuente: (IPCC, 2006).

Donde:

- **Emisión:** Emisiones de CO₂ (kg)
- **Combustible_a:** combustible vendido (galones, litros, kg o TJ)
- **Fe_a:** factor de emisión (kg/TJ, kg/galones, kg/litros)
- **a:** tipo de combustible (p. ej., gasolina, Diesel, gas natural, GLP, etc.)

Para Colombia por el factor de emisión se calcula con la ecuación 2.

Ecuación 2. Cálculo del factor de emisión

$$ET (Kg CO_2)_{eq} = \sum C(galones) \times Fe \left(\frac{Kg CO_2}{Galon} \right)$$

Fuente: (IPCC, 2006).

- **Alcance 2**

La ecuación 3 define el cálculo de emisiones por consumo de energía eléctrica:

Ecuación 3 Emisiones totales por consumo energético

$$E = \sum C \times Fe$$

Fuente: (IPCC, 2006).

Donde:

- **E:** emisiones totales de CO₂ (kg)

-
-
- **C:** consumo de energía eléctrica (kWh)
 - **Fe:** factor de emisión de CO₂ (kg CO₂ /kWh)

- **Alcance 3**

Cálculo de las emisiones de transporte aéreo

Ecuación 4. Emisiones de transporte aéreo

$$Emisiones = consumo\ de\ combustible \cdot Factor\ de\ emisión$$

Fuente: (IPCC, 2006).

También se entiende como:

Ecuación 5 Emisiones de CO₂

$$Emisiones\ de\ CO_2 = D \times P \times Fe$$

Fuente: (IPCC, 2006).

Donde:

D: distancia del vuelo (kilómetros)

P: Número de pasajeros

Fe: Factor de emisión de CO₂ por pasajero/ Kilometro (g CO₂ /pasajero-Km)

- **Cálculo de metano en CO₂ eq**

Ecuación 6. Emisiones de CH₄

$$Emisiones\ de\ CH_4 = D \times P \times Fe_{CH_4} \times PCG$$

Fuente: (IPCC, 2006).

Donde:

D: distancia del vuelo (kilómetros)

P: Número de pasajeros

Fe: Factor de emisión de metano por pasajero/ Kilometro (g CH₄ /pasajero-Km)

PCG: potencial de calentamiento global a cien años CH₄

- **Cálculo de óxido nitroso en CO_{2eq}:**

Ecuación 7. Emisiones de N₂O

$$Emisiones\ de\ N_2O = D \times P \times Fe_{N_2O} \times PCG$$

Fuente: (IPCC, 2006).

Donde:

D: distancia del vuelo (kilómetros)

P: Número de pasajeros

Fe: Factor de emisión de óxido nitroso por pasajero/ Kilometro (g N₂O/pasajero-Km)

PCG: potencial de calentamiento global a cien años N₂O

- **Materia prima**

Ecuación 8. Emisiones totales para consumo de materia prima

$$Emisión = C \times Fe$$

Fuente: (IPCC, 2006).

Donde:

Emisión: emisiones totales de CO₂ (kg)

C: consumo de papel en (kg)

Fe: factor de emisión de CO₂ (kg CO₂ /kg papel)

5.1. Alcance y límites de la huella de carbono en la institución

Alcance organizacional

- **Ubicación:** sede Mijitayo y sede Centenario, San Juan de Pasto.
- **Ámbito organizacional:** se tiene en cuenta toda la planta física y personal para la recolección de datos en materia de emisiones atmosféricas en cada una de las actividades que los colaboradores desempeñan dentro de la institución.

5.2. Alcance de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

- **Alcance 1: emisiones directas: consumo de combustibles fósiles**

Combustión de combustibles fósiles que se generan en los vehículos de la empresa, sistema de aire acondicionado y calefacción si lo hubiere). Adicional a ello, evaluar los procesos industriales que se llevan a cabo para el tratamiento de agua.

- **Alcance 2: emisiones indirectas: consumo de energía eléctrica**

En los procesos de potabilización de agua (bombas, filtros, pruebas de laboratorio) y el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de cada sede, oficinas, laboratorios y planta física.

- **Alcance 3: emisiones indirectas**

Emisiones en la cadena de suministros (compra de químicos para tratamiento de agua, compra de materiales y equipos administrativos y operativos).

Emisiones en los viajes de negocio, tener en cuenta el medio de transporte y la cantidad de trayectos.

5.3. Identificación de las fuentes de emisión

Fuentes internas

Se tiene en cuenta la operación de maquinaria y equipos que intervienen en el desarrollo de las actividades cotidianas de la institución tales como bombas de agua, generadores eléctricos, vehículos que pertenecen a la flota de la empresa.

También intervienen los procesos fisicoquímicos del tratamiento de agua que impliquen la emisión de gases de efecto invernadero, de igual forma, el uso y consumo de energía en las plantas de tratamiento, oficinas y las instalaciones de almacenamiento.

Fuentes externas

En este punto se incluyen los costos asociados al transporte de insumos desde los proveedores externos, las emisiones que se derivan en la gestión de residuos que se generan durante el proceso de tratamiento de agua y las actividades diarias de los colaboradores tanto administrativos como operativos.

5.4. Recolección de datos

Datos operativos

- Consumo de combustible de la flota de vehículos (en galones de diésel o gasolina).
- Consumo de energía eléctrica en las instalaciones de cada sede.
- Datos de emisiones de GEI en los procesos de tratamiento de agua y los procesos de gestión de residuos.
- Cantidad y tipo de productos químicos utilizados durante el tratamiento.

Fuentes secundarias

- Facturas correspondientes al consumo de energía eléctrica.
- Reporte de compras de productos y servicios
- Registro de desplazamiento de funcionarios (viaje de negocios)

5.5. Cálculo de las emisiones

Para realizar el cálculo se utilizan los factores de emisión específicos para cada fuente de emisión, dado que estos son los que indican la cantidad de gases emitidos por unidad de actividad:

- Kilogramo de CO₂ por galón de combustible consumido.
- Kilogramo de CO₂ por kWh de electricidad consumida.

Estos factores se obtienen en bases de datos oficiales o estándares internacionales como el **Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol)** o la norma **ISO 14064**.

5.6. Análisis del cálculo de las emisiones

Con los cálculos de las emisiones en cada alcance se realiza el análisis detallado que permite identificar las fuentes que generan mayores emisiones que se convierten en objeto de estrategias de reducción y se expresan en toneladas de CO₂ para facilitar su comprensión.

5.7. Diseño de estrategias de mitigación y reducción de emisiones

Estas estrategias se enfocan en los puntos más críticos de emisiones dentro de los procesos operativos y administrativos de la entidad, entre ellas se incluyen:

-
-
- Mejorar la eficiencia energética.
 - Incorporar energías renovables.
 - Optimizar el transporte con el uso de vehículos híbridos, evaluar y optimizar las rutas de acceso a las plantas para minimizar tiempos de transporte, entre otras.
 - Implementar prácticas de reducción, reciclaje y reutilización de residuos.

5.8. Seguimiento y reporte

Para garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente y la eficacia de las estrategias de mitigación para reducir la huella de carbono de la entidad se realizarán monitoreos periódicos donde se registren mediciones como mínimo una vez al año, esto con el fin de realizar el seguimiento y control del proceso. De igual manera, se realizará el informe de huella de carbono donde se detallen los resultados de la medición, la estrategia de mitigación implementada y las metas de reducción alcanzadas en el año, se presentará de manera anual a la junta directiva de la institución y será tomado como base para obtener las certificaciones ambientales pertinentes en el tema.

5.9. Certificación

La institución puede acceder a la certificación **ISO 14064** como validación de la huella de carbono de la organización y adquiere un compromiso de mejora continua en sus procesos para garantizar la mínima emisión de GEI que se lograrán con la implementación de tecnologías limpia de manera paulatina para obtener procesos más sostenibles.

6. Resultados y discusión

6.1. Caracterización de la organización en relación a sus actividades operativas

Para realizar el cálculo de la huella de carbono en la empresa pública-privada (mixta) de prestación de servicio de agua y saneamiento EMPOPASTO de la ciudad de San Juan de Pasto- Nariño, Colombia se tuvo en cuenta en primera instancia la caracterización de la organización en cuanto a sus actividades operativas y su estructura administrativa y organizacional.

6.1.1. Estructuras administrativas de EMPOPASTO S.A: cabe destacar que la empresa fue constituida como una sociedad anónima, en este apartado se describe la organización empresarial donde se evidencia su misión, visión, sus valores corporativos y el organigrama, estas actividades se describen a continuación:

Misión: empresa pastusa, líder en el Sector de Servicios Públicos Domiciliarios, que garantiza calidad, continuidad y cobertura de los servicios de agua y saneamiento para generar bienestar regional, soportada en el talento humano idóneo y comprometido, que administra y gestiona eficientemente sus recursos, con capacidad técnica operativa e innovación, equidad, sostenibilidad, responsabilidad social y expansión empresarial (Empopasto, 2023).

Visión: EMPOPASTO, reconocida como una de las mejores empresas de servicios públicos domiciliarios, por su excelencia en la gestión empresarial y expansión de sus servicios, enfocada al mejoramiento continuo y sostenibilidad, contribuyendo a la calidad de vida de todos (Empopasto, 2023)

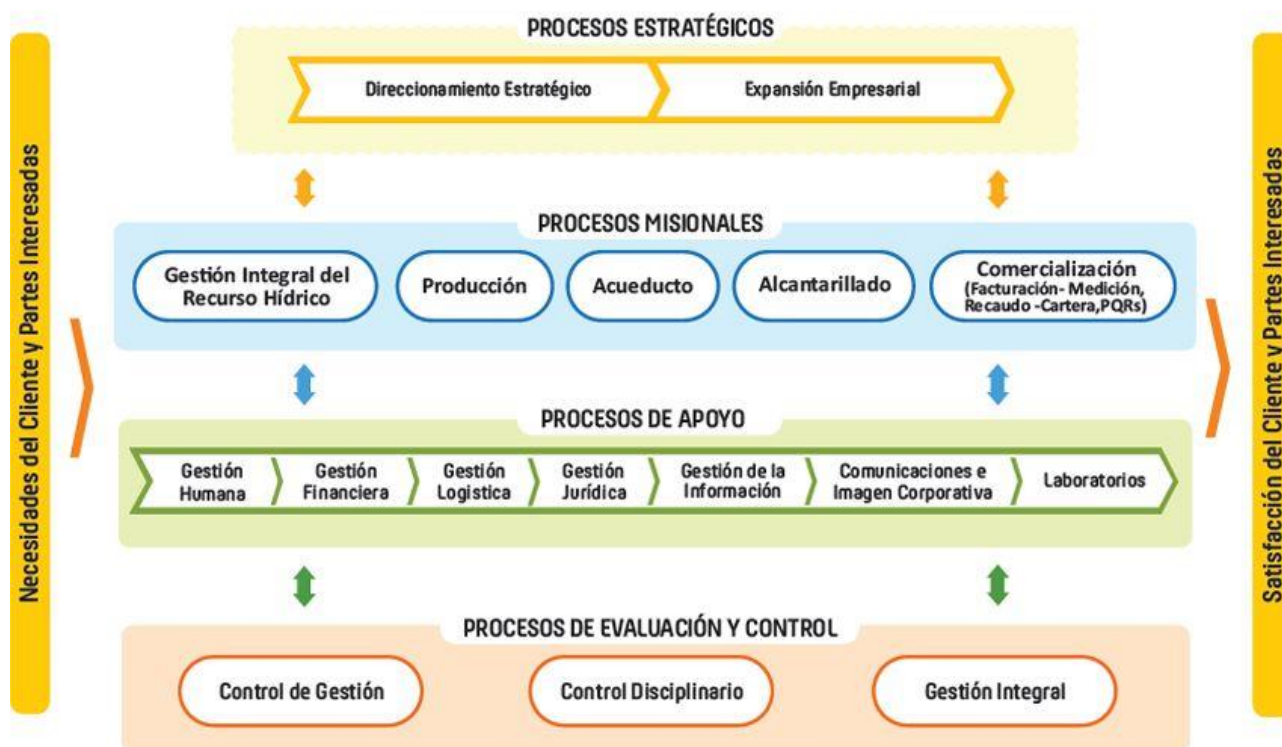
Valores corporativos: EMPOPASTO se caracteriza por su valor de calidad del servicio, cultura del servicio, integridad, calidez humana, cooperación, equidad, pertenencia y resiliencia (Empopasto, 2023).

Adicional a ello, la empresa cuenta con una **Política Integral** donde se compromete con la gestión integral del agua, garantizando la calidad, cobertura y continuidad del recurso a la comunidad; a la satisfacción de los usuarios y grupos de interés, a la protección del medio ambiente, a la protección de la seguridad y la salud de sus colaboradores, a garantizar la confidencialidad, integridad, disponibilidad, privacidad, continuidad y autenticación de la información, a la administración y conservación de los documentos, a la calidad y confiabilidad de los resultados para los servicios, a través de la gestión integrada de los laboratorios de ensayo y calibración (Empopasto, 2021).

Todo lo anterior se fundamentó en el compromiso gerencial, el talento humano competente y la oportuna gestión de sus riesgos, además cuenta con un enfoque participativo, formativo y de toma de conciencia, cumpliendo así con la legislación aplicable, promoviendo la mejora continua de su desempeño.

La figura 1 muestra el mapa de procesos de la empresa EMPOPASTO S.A. el cual se compone de 17 procesos distribuidos en: dos estratégicos, cinco misionales, siete procesos de apoyo, tres procesos de evaluación y control que integran el Sistema de Gestión de Calidad de Empopasto, certificado en la NTC ISO 9001:2015, de esta manera garantiza también el cumplimiento de los objetivos institucionales desde la mejora continua con el correcto desarrollo de las actividades del ciclo PHVA.

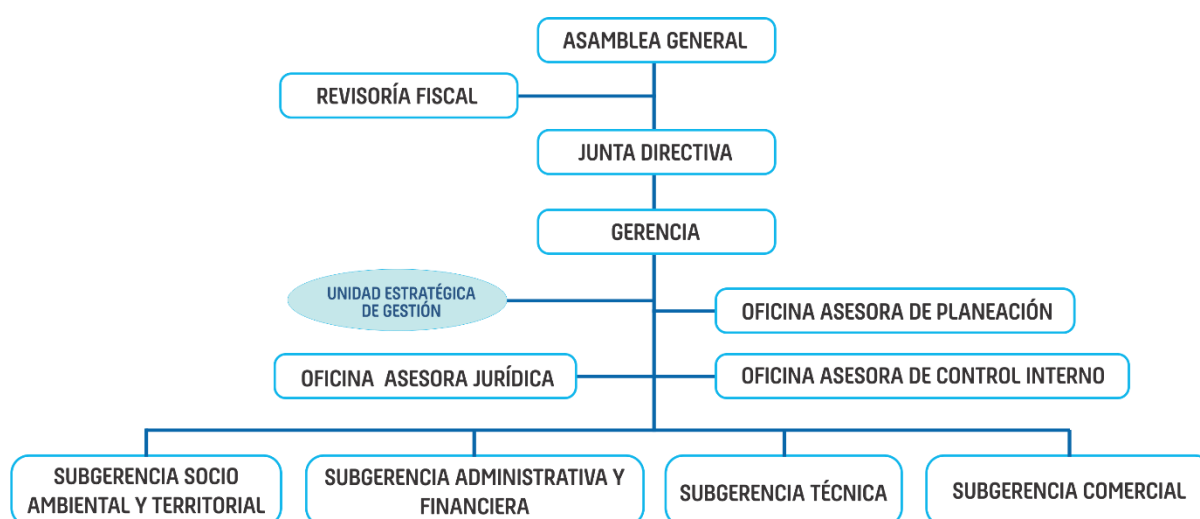
Figura 1. Mapa de Procesos de la empresa EMPOPASTO S.A.



Fuente: Plan Estratégico 2021-2024 “El agua, la fuerza que nos mueve”

Por otra parte, la organización jerárquica de la empresa se plasma en el organigrama, tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Organigrama de EMPOPASTO S.A.



Fuente: EMPOPASTO, 2023.

6.1.2. Actividades operativas de EMPOPASTO S.A: entre sus actividades operativas se destacan la captación, tratamiento y distribución de agua, se lleva a cabo el análisis y control de calidad del agua,

Captación y tratamiento de agua: la entidad realiza este proceso en dos plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), Centenario y Mijitayo que se encargan de producir mensualmente alrededor de 1.500.000 m³ de agua potable para su distribución a aproximadamente 400.000 habitantes.

Distribución de agua: este proceso se realiza mediante una red de acueducto que abarca un aproximado de 500 kilómetros, este sistema asegura el suministro suficiente del agua potable en toda la ciudad de San Juan de Pasto.

Análisis y control de calidad del agua: para garantizar la calidad y efectividad el tratamiento del agua, la empresa posee un laboratorio certificado donde realiza el análisis fisicoquímicos, microbiológicos y parasitológicos, esto con el fin de dar cumplimiento a la Resolución 2115 de 2015 que rige la calidad de agua en Colombia mediante límites permitidos en cada uno de los parámetros que se analizan durante la caracterización fisicoquímica del agua tratada; para corroborar la efectividad del tratamiento se realiza un muestro antes de la bocatoma y uno al finalizar el proceso.

6.1.3. Actividades administrativas de EMPOPASTO S.A: dentro de estas actividades se encuentran la prestación del servicio de atención al cliente y gestión comercial y cuenta con actividades de gestión ambiental y control interno, a continuación, se describe cada una de ellas:

Atención al cliente y gestión comercial: dado que la empresa se encarga del recaudo de la tarifa mensual de consumo de los ciudadanos, ofrece el servicio de atención al cliente donde incluye la gestión de peticiones, quejas, reclamos y sugerencias (PQRS) así como los

procesos de facturación y recaudo de manera eficiente para garantizar la satisfacción de los clientes.

Gestión ambiental y control interno: en sus instalaciones, implementa y aplica el Sistema de Gestión Ambiental el cual está orientado al control y mitigación de su impacto ambiental en sus actividades; en este orden de ideas, mantiene una arquitectura de control que le permite contar con una estructura organizacional sólida, y formular y gestionar políticas y procedimientos efectivos.

En este sentido, las actividades operacionales y administrativas de la entidad son fundamentales para garantizar el acceso al agua potable y al saneamiento básico de la ciudad de San Juan de Pasto y de esta manera contribuye con la preservación de la salud y brinda bienestar a la población. De igual manera, la flota automotriz es importante para el correcto funcionamiento de la empresa, para ello se realizó la caracterización que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de vehículos en EMPOPASTO

Tipo	Cantidad	Combustible
Automóviles	12	Gasolina
Motocicletas	19	Gasolina
Maquinaria pesada	17	ACPM y Gasolina
Camiones	4	ACPM
Volqueta	3	ACPM

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4. Otras fuentes de emisión: dado que se trata de una empresa prestadora de servicios públicos, también se caracterizaron otras fuentes de emisión mediante el consumo de papel y los viajes de negocios (trayectos) que se llevaron a cabo durante la vigencia 2024 y se describen en la tabla 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3. Consumo de papel, vigencia 2024

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
# resmas	105	0	11	133	93	79	76	80	59	67	75	74
peso en kg	241,5	0	25,3	305,9	213,9	181,7	174,8	184	135,7	154,1	172,5	170,2

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 3 se infiere que para la vigencia 2024, el consumo de papel en resmas y en kilogramos tuvo un consumo significativo en el primer mes del año con 105 resmas equivalentes a 241,3 kg siendo este el mes con el consumo más alto tanto en resmas como en kilos, razón por la cual en el mes de febrero no se registra consumo de papel, esto podría deberse distintos motivos que se atribuyen ya sea a la baja de actividades dentro de la entidad como a la disminución producción del recurso lo que produce escases del mismo en la región, mientras que en el mes de marzo existe un mínimo consumo (11 resmas) que equivalen a (25,3 kg) en comparación a enero, donde la caída es considerable y se mantiene como el índice más bajo durante el resto del año sin contar a febrero no hubo consumo.

En el mes de abril, el consumo se incrementa de sobremanera con 133 resmas equivalentes a 305,9 kg superando así el alto consumo registrado en el mes de enero; pero entre mayo y junio se evidenció una fluctuación en el dispendio de papel con 93 y 76 resmas que corresponden a 213,9 y 181,7 kg respectivamente pero si bien es cierto que el consumo es elevado, en comparación al primer trimestre del año, este ha disminuido de manera considerable y se mantiene en un nivel moderado durante julio y agosto con un gasto de 76 y 80 resmas.

Es en el mes de septiembre donde se evidencia una baja considerable del dispendio de papel en la entidad, reportando el gasto de 59 resmas de papel equivalentes a 135, 7 kg

posicionándose, así como el mes con menos consumo del recurso y para la finalización del año, en el último trimestre se observó una variación moderada en el incremento del gasto, con 67, 75 y 74 resmas respectivamente.

De esta manera, al analizar las variaciones de consumo, se afirma que en los meses con mayor dispendio reflejan un aumento en las actividades de la entidad que requieren del papel para su correcto funcionamiento, teniendo en cuenta que durante los primeros meses, la entidad se encuentra en la etapa de planeación de las actividades que se desarrollarán a lo largo del año, mientras que para el segundo trimestre se observa una estabilidad en el dispendio de resmas lo que sugiere actividades menos intensas que no requieren comunicaciones por escrito y para el final del año, con la moderada ampliación del consumo, sugieren que las operaciones durante este periodo son constantes.

Si bien es cierto que la demanda de papel en la entidad es moderada, para reducir los altos picos en determinados meses, Betancourt (Betancourt, 2023) sugiere ceñirse a la política de cero papel, pero al ser una entidad prestadora de servicios públicos, sus actividades lo requieren, especialmente para efectos de facturación, sin embargo, con la creciente introducción de los medios digitales en todos los campos, existen varias estrategias que permiten una reducción paulatina del consumo de papel tales como “reducir el tamaño de los documentos a imprimir, elegir tamaños de fuente pequeños, fotocopiar e imprimir a doble cara, conocer el uso correcto de la impresora para evitar un gasto innecesario, entre otras” (p.18), e implementar así las comunicaciones mediante correo electrónico, e imprimir páginas que sean estrictamente necesarias.

Tabla 4. Trayectos, vigencia 2024

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Vuelos (km)	4056	2028	3042	786	2607	1244	0	1014	8133	14146	2535	1014

Fuente: elaboración propia

Ahora bien, en términos de trayectos, es en el mes de enero donde se evidenció un mayor consumo en comparación al resto de los meses con 4.056 kilómetros, sin embargo es en el mes de octubre donde la entidad alcanzó el pico más alto de traslados con 14.146 kilómetros lo que significó para la entidad una gran cantidad de expansión de vuelos y esto se justifica sobre la base de la cantidad de ventos que se presentaron durante ese mes acrecentando las operaciones de la compañía, mientras que el resto del año presenta variaciones moderadas en cuanto a kilómetros desplazados destacando que en el mes de julio no se presentó ningún evento de esta índole.

Entonces, al hablar de los picos de actividad presentes en la entidad, septiembre y octubre muestran un aumento notable en los trayectos con 8.133 km y 14.146 km respectivamente, reflejando alzas en la demanda de vuelos debido a factores estacionales donde la presencia de congresos y reuniones de negocios contribuyen a este fenómeno; pero en los meses de menor actividad como lo son abril y julio, donde los trayectos 786 y 0 km respectivamente, reflejan una inactividad comercial externa a la empresa.

De esta manera, con los reportes de la tabla 4 se evidenció que el patrón de vuelos en la entidad es bastante irregular y se probó con las dinámicas oscilaciones entre trayectos mensuales presentándose a principio de año los índices más elevados, esto justificado sobre la base de eventos importantes, uno de ellos fue la COP 16 realizada en el mes de octubre de 2024

donde la participación del departamento fue notoria y la entidad prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado tuvo su presencia con 14.146 km recorridos.

Finalmente, dentro del sistema de gestión ambiental, existe un apartado que hace énfasis al manejo de residuos sólidos, para ello, la empresa cumple con el código de colores vigente regido por la Resolución 2184 de 2019. La tabla 5 plasma la descripción y el consumo de bolsas de papel en la entidad.

Tabla 5. Caracterización bolsas plásticas

ELEMENTOS	ELEMENTO	Cantidad
BOLSA PLÁSTICA NEGRA PARA RESIDUOS SÓLIDOS 10 L De alta calidad, resistentes al peso y al desgarro. Fabricadas de polietileno de baja densidad, material reciclable. Se ligan a la convención de las canecas: bolsa negra para residuos no aprovechables Medidas aproximada de 40 x 60 cm Calibre 2	 45 x 60	850
BOLSA PLÁSTICA BLANCA PARA RESIDUOS SÓLIDOS 10 L De alta calidad, resistentes al peso y al desgarro. Fabricadas de polietileno de baja densidad, material reciclable. Se ligan a la convención de las canecas: bolsa blanca para residuos aprovechables Medidas aproximada de 40 x 60 cm Calibre 2		530
BOLSA PLÁSTICA BLANCA PARA RESIDUOS SÓLIDOS 55 L De alta calidad, resistentes al peso y al desgarro. Bolsas resistentes, ideales para la entrega de residuos aprovechables Medidas aproximadas de 65 x 90 cm. Calibre 2		700

ELEMENTOS	ELEMENTO	Cantidad
BOLSA PLÁSTICA ROJA PARA RESIDUOS PELIGROSOS 55L De alta calidad, resistentes al peso y desgarro. Bolsas resistentes, ideales para la eliminación de materiales de desecho con peligrosidad (riesgo biológico). Medidas aproximadas de 65 x 90 cm. Calibre 2		350

Fuente: elaboración propia

6.2. Aplicación de la metodología estandarizada para el cálculo de la huella de carbono

Para el cálculo de la huella de carbono es esencial contar con una metodología que permita evaluar su impacto ambiental en las actividades antrópicas, dado que, a través de ella es posible cuantificar las emisiones de GEI que se generan en los distintos procesos que se desarrollan dentro de las entidades. En este capítulo se describirán las herramientas disponibles para el cálculo de la huella de carbono para así formular e implementar prácticas sostenibles en la empresa.

6.2.1. Para el alcance 1

Tras la caracterización y cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la empresa EMPOPASTO, se identificaron las principales fuentes emisoras donde se destacó el consumo de combustibles fósiles en la flota vehicular de la empresa, diferenciada por tipo de combustible, ACPM y gasolina que previamente se ha descrito en la tabla 2, en este orden de ideas, la tabla 6 muestra el consumo de combustible en las fuentes fijas de la compañía.

Tabla 6. Emisiones de fuentes fijas

Mes	Tipo de combustibles	Cantidad de combustibles (gal)	Emisión Parcial (kg CO ₂)
Enero	ACPM	55	558,25
	Gasolina	0	0
Febrero	ACPM	110	1116,5
	Gasolina	0	0
Marzo	ACPM	165	1674,75
	Gasolina	275	2241,25
Abril	ACPM	0	0
	Gasolina	110	896,5
Mayo	ACPM	55	448,25
	Gasolina	55	558,25
Junio	ACPM	142	1157,3
	Gasolina	110	1116,5
Julio	ACPM	220	2233
	Gasolina	110	896,5
Agosto	ACPM	165	1674,75
	Gasolina	109,92	895,85
Septiembre	ACPM	55	558,25
	Gasolina	55	448,25
Octubre	Gasolina	0	0
	ACPM	165	1674,75
Noviembre	Gasolina	0	0
	ACPM	55	558,25
Diciembre	ACPM	0	0
	Gasolina	110	896,5
TOTAL (kg CO₂)			19.603,648

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 6, las fuentes fijas registraron un consumo anual de 2.122 galones de combustibles fósiles, distribuidos en un promedio mensual de 80,58 galones de ACPM y 96,24 galones de gasolina. El mes con la mayor emisión de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) durante el año 2024 fue marzo, con un total de 3.916 kg de CO₂e.

El cálculo de emisiones derivadas del consumo de ACPM y gasolina se realizó utilizando factores de emisión de 10,15 kg CO₂/galón y 8,15 kg CO₂/galón, respectivamente, conforme a los coeficientes establecidos para cada tipo de combustible.

En este orden de ideas, se retoma la matriz energética de Colombia, citada en Cardona (Cardona et al., 2024) donde se refleja que “el sector energético del país depende de recursos

como el carbón, el petróleo y el gas natural, a su vez que la transformación de estos se convierte en combustibles” (p.5), en este sentido, se busca el equilibrio de la demanda creciente de consumo de estos combustibles mediante el estudio y la generación de energías renovables para mitigar el impacto ambiental que estos generan.

De igual manera, “la dependencia de las instituciones con respecto al uso de combustibles fósiles ha generado diversas preocupaciones, el impacto ambiental que las emisiones de GEI generan en el cambio climático y la limitación de la reserva de combustibles en el futuro” (Fernández, F & Jusmet, J., 2010). Estos escenarios abren una visión a futuro, donde la energía renovable busca ser la solución para detener el uso desmedido de los combustibles fósiles, teniendo en cuenta que la base para renovar energía se encuentra en los recursos naturales, aunque no se deja de lado que, la adaptación a un nuevo modelo energético puede tomar años, por tanto, se hace necesario tomar acciones desde ya, comenzando por las instituciones.

Por otro lado, el consumo de combustibles fósiles en fuentes móviles durante el año 2024 fue de 18.082 galones, con un consumo mensual promedio de 812,33 galones de ACPM y 694,50 galones de gasolina, según lo detallado en la tabla 7.

Tabla 7. Emisiones de fuentes móviles

Mes	Tipo de combustibles	Cantidad de combustibles (gal)	Emisión Parcial (kg CO ₂)
Enero	ACPM	352,1	3.573,815
	Gasolina	547,56	4.462,614
Febrero	ACPM	394,15	4.000,6225
	Gasolina	203,46	1.658,199
Marzo	ACPM	2039,75	20.703,4625
	Gasolina	1657,61	13.509,5215
Abril	ACPM	691,81	7.021,8715
	Gasolina	592,8	4.831,32
Mayo	ACPM	651,08	6.608,462

Mes	Tipo de combustibles	Cantidad de combustibles (gal)	Emisión Parcial (kg CO₂)
	Gasolina	674,92	5.500,598
Junio	ACPM	768,48	7.800,072
	Gasolina	598,46	4.877,449
Julio	ACPM	822,54	8.348,781
	Gasolina	676,92	5.516,898
Agosto	ACPM	745,93	7.571,1895
	Gasolina	704,77	5.743,8755
Septiembre	ACPM	742,38	7.535,157
	Gasolina	663,93	5.411,0295
Octubre	Gasolina	871,67	8.847,4505
	ACPM	632,38	5.153,897
Noviembre	Gasolina	789,74	8.015,861
	ACPM	760,51	6.198,1565
Diciembre	ACPM	878,34	8.915,161664
	Gasolina	620,79	5.059,472118
TOTAL (kg CO₂)			166.864,9363

Fuente: elaboración propia

El análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) indica que marzo fue el mes con la mayor emisión de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), alcanzando un total de 34.212,98 kg de CO₂e. Para la cuantificación de estas emisiones, se emplearon los factores de emisión previamente mencionados.

Entre las principales fuentes emisoras de GEI en la categoría de fuentes móviles, se identificaron diecisiete equipos de maquinaria pesada con consumo de ACPM y doce vehículos livianos a gasolina, los cuales representan una contribución significativa a las emisiones de la empresa. Asimismo, se determinó que febrero fue el mes con la menor emisión de CO₂e dentro del período analizado.

El consolidado de las emisiones en fuentes móviles y fijas correspondientes al alcance 1 revela que, marzo de 2024 fue el mes con mayor actividad operacional en alineación con la misión, visión y plan estratégico de la empresa, lo que se tradujo en un incremento en el consumo de combustibles fósiles y, por ende, en un aumento en las emisiones de GEI.

6.2.2. Para el alcance 2

El alcance 2 comprende las emisiones indirectas derivadas del consumo de energía eléctrica en las instalaciones de la empresa, las cuales se registran mes a mes, como se detalla en la tabla 8.

Tabla 8. Emisiones de energía eléctrica

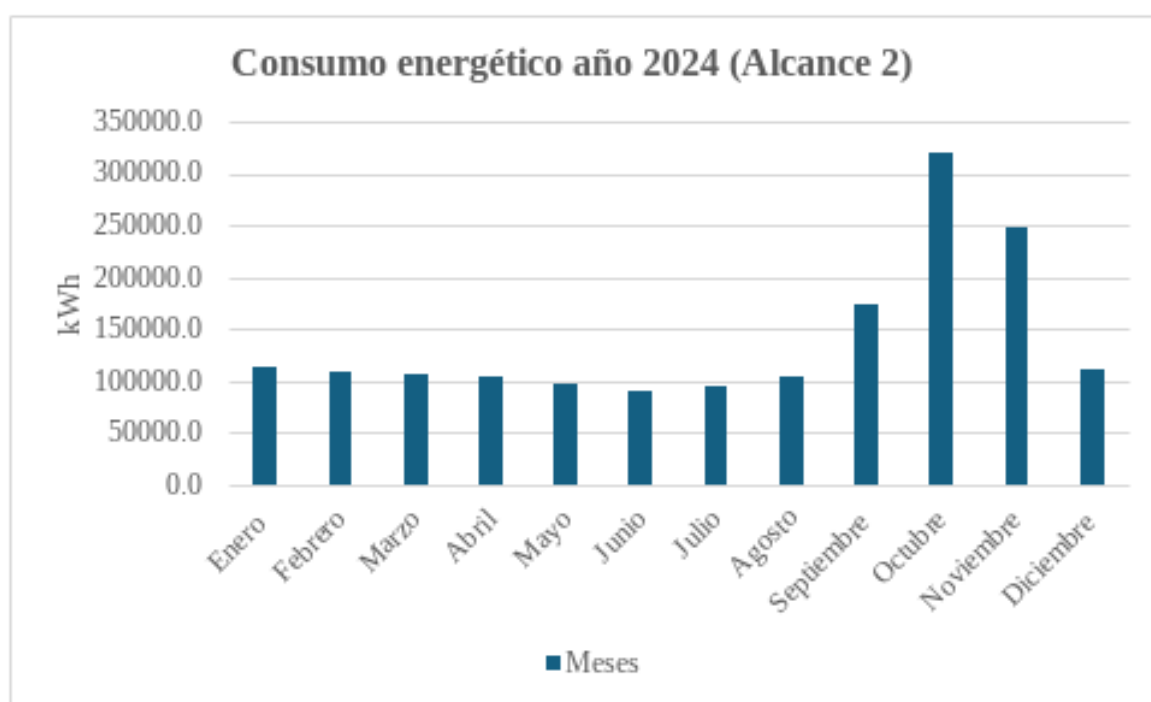
Mes	Consumo (kWh)	Factor de emisión (kg CO ₂ /kWh)	Emisión Parcial (kg CO ₂)
Enero	112.763,34	0,199	22.439,90466
Febrero	108.348,66	0,199	21.561,38334
Marzo	107.067,06	0,199	21.306,34494
Abril	104.380,09	0,199	20.771,63791
Mayo	98.114,51	0,199	19.524,78749
Junio	90.021,64	0,199	17.914,30636
Julio	96.390,07	0,199	19.181,62393
Agosto	103.752,22	0,199	20.646,69178
Septiembre	174.320,00	0,199	34.689,68
Octubre	320.818,54	0,199	63.842,88946
Noviembre	249.138,36	0,199	49.578,53364
Diciembre	112.058,64	0,199	22.299,66936
TOTAL (kg CO₂)			333.757,4529

Fuente: elaboración propia.

Durante el año 2024, EMPOPASTO adquirió la energía eléctrica a través del comercializador Centrales Eléctricas de Nariño (CEDENAR). El mes con el mayor consumo

de energía fue octubre, con un total de 320.818,5 kWh, lo que generó emisiones asociadas de 63.642,89 kg de CO₂e, representando el 19,13% del total de emisiones indirectas por consumo eléctrico, estimadas en 333.757,45 kg de CO₂e. Los meses de noviembre y septiembre registraron los siguientes niveles más altos de consumo y emisiones asociadas como se ilustra en la gráfica 1.

Gráfica 1. Demanda energética del año 2024.



Fuente: elaboración propia.

El consumo de energía en la empresa está vinculado a las diferentes sedes, oficinas, laboratorios, infraestructura física y procesos operativos, incluyendo el funcionamiento de bombas para la potabilización del agua y la realización de pruebas de laboratorio. Además, las instalaciones de EMPOPASTO, la demanda energética de los sistemas de bombeo representó aproximadamente el 80% del consumo eléctrico total.

Resultados análogos se observan en otras entidades del sector, evidenciando un patrón de consumo energético característico de las empresas de acueducto. En este contexto, la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá reportó que más del 81% de su

consumo eléctrico se destinó a actividades de bombeo, seguido por operaciones de tratamiento según EAB-ESP (EAB-ESP, 2015).

De acuerdo con la "Guía para la Optimización Energética en Sistemas de Tratamiento de Agua Potable", los sistemas de bombeo, compresores y dosificadores de químicos, entre otros, son los componentes de mayor demanda energética en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) afirma el Ministerio de Vivienda (Ministerio de Vivienda, 2021). En consecuencia, se estima que más del 60% de la demanda energética en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) está asociada al sistema de bombeo, considerando desde la captación hasta la distribución del agua al usuario final. De manera similar, el acueducto Bosconia reportó que el mayor consumo de energía eléctrica en acueducto, ubicado en el municipio de Matanza, se concentró en los procesos de captación de agua hacia la PTAP y la distribución de agua potable, de esta manera, el consumo de energía es importante para llevar a cabo los procesos de potabilización de agua, tal como lo afirma Pérez (Pérez et al, 2020).

Es relevante señalar que, la demanda energética de EMPOPASTO dependió exclusivamente del suministro proporcionado por la comercializadora eléctrica de la ciudad, CEDENAR. La entidad no dispone de sistemas de generación de energía propios, tales como fuentes renovables (solar o hidráulica), que hubieran permitido mitigar el impacto de la huella de carbono de las emisiones indirectas de GEI en el alcance 2. La implementación de tales sistemas no solo reduciría la dependencia de fuentes externas y disminuiría las emisiones indirectas, sino que también fortalecería la seguridad energética de la entidad, un aspecto crucial dada su importancia como proveedor de servicios esenciales.

6.2.3. Para el alcance 3

Las emisiones derivadas del consumo de materias primas, insumos y viajes de negocio que corresponden al alcance 3 de las emisiones indirectas, se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Emisiones indirectas

Mes	Fuente de emisión	Cantidad (kg)	Emisión Parcial (kg CO ₂)
Enero	Papel	241,5	195,615
Febrero	Papel	0	0
Marzo	Papel	25,3	20,493
Abril	Papel	305,9	247,779
Mayo	Papel	213,9	173,259
Junio	Papel	181,7	147,177
Julio	Papel	174,8	141,588
Agosto	Papel	184	149,040
Septiembre	Papel	135,7	109,917
Octubre	Papel	154,1	124,821
Noviembre	Papel	172,5	139,725
Diciembre	Papel	170,2	137,862
Ene-Dic	Plástico	2430	7290
TOTAL (kg CO₂)			8.877,276

Fuente: elaboración propia.

El consuno de papel en la organización fue 1.959,6 kilogramos en el año 2024, representando un consumo promedio de 163,3 kilogramos mensual, liberando emisiones de GEI de 247.779 kg de CO₂ equivalentes para el mes de mayor consumo que se registró en abril con 305.9 kg de papel seguido del mes de enero.

Durante el año 2024, el consumo de papel en la organización alcanzó un total de 1.959,6 kilogramos, con un promedio mensual de 163,3 kilogramos. El mes de mayor consumo fue abril con 305,9 kilogramos, seguido de enero, lo que generó emisiones asociadas de 247.779 kg de CO₂e.

Adicionalmente, se llevó a cabo la caracterización del consumo de bolsas plásticas de alta calidad y baja densidad adquiridas anualmente, cuyo volumen total fue de 2.430 kilogramos. Este consumo resultó en la liberación de 7.290 kg de CO₂e, contribuyendo a las emisiones indirectas de la organización.

De acuerdo con lo anterior, para este cálculo de emisiones se tuvieron en cuenta factores de emisiones de 0,81 (kg CO₂/kg) para el papel y para las bolsas plásticas de 3 (kg CO₂/kg) de acuerdo con la Base de datos de mezcla de producción en planta sobre el ciclo de vida: Granulado de polietileno de baja densidad (PE-LD), según Fazio (Fazio et al., 1999). Con lo anterior, la tabla 10 describe las emisiones indirectas asociadas al transporte aéreo de los funcionarios de la empresa EMPOPASTO S.A.

Tabla 10. Emisiones indirectas en el transporte aéreo

Mes	Fuente de emisión	Distancia (km)	Emisión Parcial (kg CO ₂)
Enero	Avión comercial	4056	630,82968
Febrero	Avión comercial	2028	315,41484
Marzo	Avión comercial	3042	473,12226
Abril	Avión comercial	786	122,24658
Mayo	Avión comercial	2607	405,46671
Junio	Avión comercial	1244	193,47932
Julio	Avión comercial	0	0
Agosto	Avión comercial	1014	157,70742
Septiembre	Avión comercial	8133	1.264,92549
Octubre	Avión comercial	14146	2.200,12738
Noviembre	Avión comercial	2535	394,26855
Diciembre	Avión comercial	1014	157,70742
TOTAL			6.315,295

Fuente: elaboración propia.

Los viajes de negocios representaron un factor significativo en la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de las actividades corporativas, como se detalla en la tabla 10.

Durante el año 2024, EMPOPASTO acumuló un total de 40.605 km en vuelos comerciales, con un promedio mensual de 3.383 km recorridos. Este desplazamiento aéreo generó un total de 6.315,295 kg de CO₂e emitidos a la atmósfera. Los viajes estuvieron

principalmente relacionados con la participación en congresos y la toma de decisiones estratégicas para la empresa.

El mes con mayor cantidad de desplazamientos fue octubre de 2024, registrando un total de 14.146 km volados. La mayoría de estos viajes fueron nacionales, con la excepción de un desplazamiento internacional. Cabe destacar que el incremento en la actividad aérea durante dicho mes estuvo asociado a la participación de la empresa en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Biodiversidad (COP 16), celebrada en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, Colombia. La presencia activa de EMPOPASTO en múltiples espacios dentro del evento se tradujo en un aumento significativo en las emisiones de GEI derivadas del transporte aéreo.

Es así como Crespo Garay (Crespo, 2021) encontró que las emisiones de CO₂ atribuibles a la aviación han incrementado en un 22,6% anual en promedio durante los últimos 25 años y es la aviación comercial la mayor contribuyente al deterior atmosférico ya que se le imputa un 5% de daño ambiental. Con esto, los constantes trayectos comerciales se han convertido en un detonante para la emisión de gases de efecto invernadero ya que el combustible de los mismo se compone de nitrógeno (NO_x) y CO₂ que contribuyen a la degradación atmosférica detonante del cambio climático con el cambio de la calidad del aire.

En este orden de ideas, la tabla 11 resume las emisiones de GEI por cada alcance para así consolidar el total de emisiones generadas por parte de la organización en la vigencia 2004.

Tabla 11. Consolidado de emisiones generadas por EMPOPASTO S.A.

ALCANCE 1		
Fuentes fijas	19,604	t CO2 eq
Fuentes móviles	166,864	t CO2 eq
Total alcance 1	186,468	t CO2 eq
Total arboles alcance 1	12.453,23895	
Total hectáreas alcance 1	53,37102408	
ALCANCE 2		

Electricidad	333,757	t CO2 eq
Total alcance 2	333,757	t CO2 eq
Total arboles alcance 2	22.250,49686	
Total hectáreas alcance 2	95,35927225	
ALCANCE 3		
Manejo de residuos	15,192	t CO2 eq
Viajes de negocios		
Total alcance 3	15,192	t CO2 eq
Total arboles alcance 3	1.012,83811	
Total hectáreas alcance 3	4, 340734757	
TOTAL ALCANCE 1, 2 y 3	535,417	t CO2eq

Fuente: elaboración propia.

De los tres alcances principales que contempla el de protocolo GHG, el alcance 2 de emisiones indirectas provenientes por el consumo de energía eléctrica adquirida, es el alcance con emisiones de GEI más significativas que se encontró en la empresa de Empopasto, con un total de 333.757 t CO₂e que representa más del 60% de las emisiones totales que emite la empresa, debido a la gran demanda de energía eléctrica para todo el proceso del tratamiento del agua.

Sin embargo, estos valores no son atípicos en este tipo de empresas, se encontraron otros valores similares en el informe de gases de efecto invernadero del acueducto, agua, alcantarillado y aseo de Bogotá también obtuvieron que la mayor fuente de emisiones de GEI corresponde al consumo de energía eléctrica adquirida con emisiones de 32.486,10 t CO₂e/año, que corresponde al 84% de las emisiones totales del inventario según EAB-ESP (Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB-ESP, 2015).

Cabe resaltar que, la empresa EMPOPASTO ha implementado programas de reforestación en las cuencas y microcuencas de su área de influencia, con el objetivo de preservar y conservar los bosques nativos. Adicionalmente, se ha realizado la adquisición progresiva de predios destinados a la restauración ecológica y a la compensación de las

emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que no pueden ser mitigadas mediante la reducción directa, buscando así la neutralización de su huella de carbono corporativa.

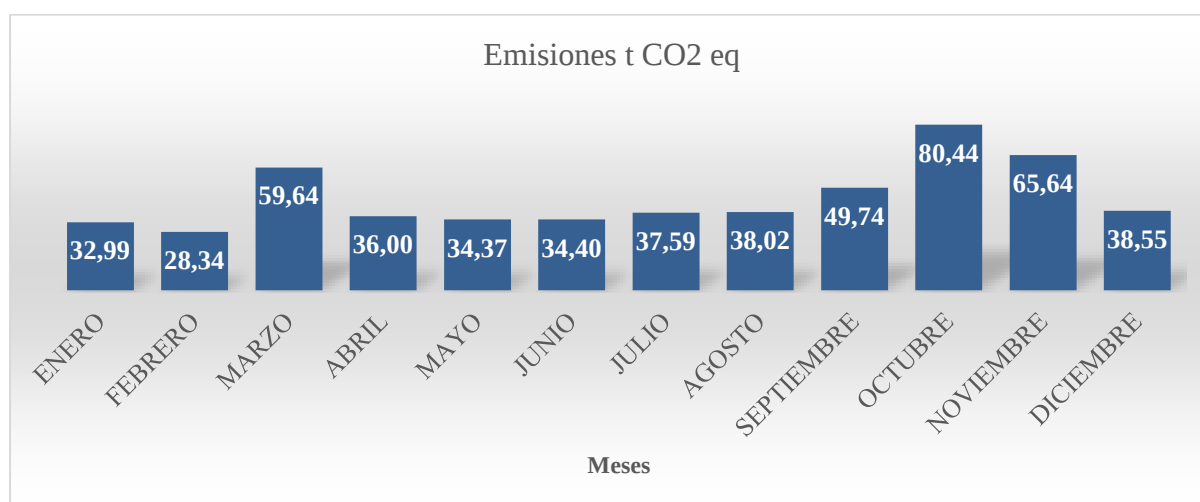
Se recomienda que las actividades de adquisición de predios y reforestación se planifiquen en función de la cuantificación de las emisiones generadas en cada alcance, con el fin de determinar el área de compensación requerida, así, se calculó el número de hectáreas que necesitaría para las emisiones de GEI generadas en el año 2024, con un resultado de 153 hectáreas aproximadamente.

No obstante, se subraya la importancia de que la compensación se realice mediante la adquisición de certificados de emisiones reducidas (CERs), provenientes de proyectos de mitigación de GEI debidamente registrados ante estándares reconocidos internacionalmente. Sin embargo, se debe tener en cuenta que para que las compensaciones tengan veracidad es recomendable realizarlas con emisiones reducidas certificadas o verificadas de proyectos de reducción de emisiones de GEI debidamente registrados ante estándares reconocidos internacionalmente.

Una forma para empezar a realizar es con certificados de emisiones reducidas (CERs) del proyecto de mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) central hidroeléctrica de Santa Ana, como lo ha hecho la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de Bogotá según indica Patricia M. en estudios previos (Patricia, M., 2018)

La gráfica 2 muestra el consolidado de emisiones por mes dentro de la empresa EMPOPASTO S.A donde se evidencia la variación de los gases de efecto invernadero (GEI) en toneladas de dióxido de carbono durante la vigencia 2024.

Gráfica 2. Consolidado de emisiones por mes



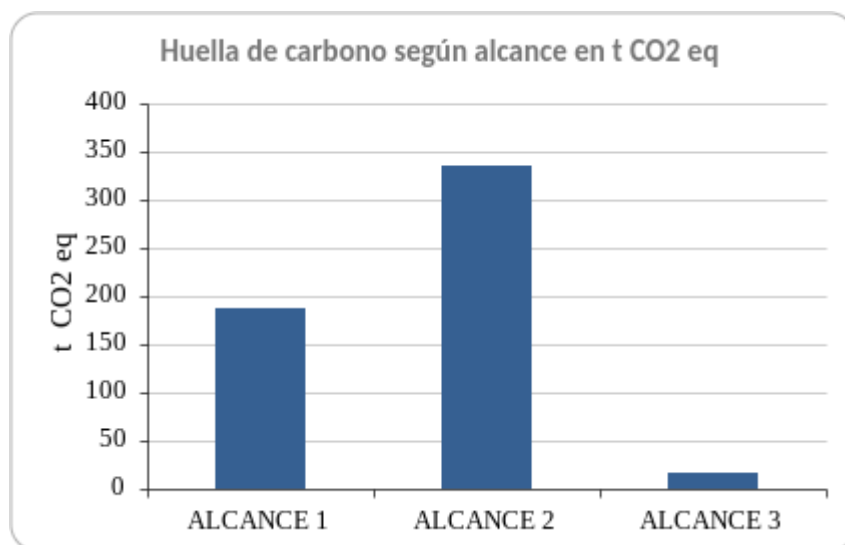
Fuente: elaboración propia

De la gráfica 2 se infiere que la mayor actividad registrada en octubre, noviembre y marzo sugiere un patrón temporal relacionado con el uso intensivo de maquinaria pesada (alcance 1) y un incremento en la demanda de energía (alcance 2); estas variaciones podrían estar vinculadas con los ciclos específicos de potabilización, proyectos de construcción y adecuación de las redes de alcantarillado en la ciudad o actividades estacionales que requieren un aumento de recursos generando mayores consumos energéticos que repercuten de manera directa e indirecta en las emisiones de las mismas.

Este comportamiento tan variable subraya la necesidad de realizar labores de monitoreo y gestión de las emisiones en fuentes fijas y móviles y en el consumo de energía tomando como referente inicial los meses de mayor consumo y con el seguimiento implementar estrategias que se encaminen a la reducción de la huella de carbono durante los meses con estadísticas más altas mediante la optimización de los procesos operativos, el fomento de la energía renovable a partir de la actividad principal de la empresa, tomando el agua como un punto de partida para futuros estudios y el uso de maquinaria eficientemente sostenible.

Finalmente, la gráfica 3 muestra la huella de carbono definida en los tres alcances evaluados en la institución para la vigencia 2024.

Gráfica 3. Huella de carbono



Fuente: elaboración propia

De la gráfica 3 se destaca que el consumo de energía eléctrica representa la mayor carga ambiental, especialmente en el proceso de potabilización siempre y cuando los sistemas de bombeo para la captación o distribución superen los consumos de producción (Barrera, 2020). Además, la evaluación ambiental realizada permitió identificar que, en promedio, el 94% de las emisiones de CO₂ están relacionadas con el consumo eléctrico, de esta manera se determinó que el total de emisiones de GEI de la empresa EMPOPASTO S.A equivale a 535.417 toneladas de CO₂.

Con lo anterior, la organización debe implementar estrategias orientadas a la reducción del consumo de energía eléctrica, particularmente en procesos clave como las estaciones de bombeo, estas acciones contribuirán significativamente a la reducción de las emisiones asociadas y, por ende, al impacto de la huella de carbono, alineándose así con los principios de responsabilidad ambiental y sostenibilidad. La implementación de tecnologías eficientes y el monitoreo continuo de los consumos energéticos son pasos fundamentales para dar cumplimiento a los objetivos de sostenibilidad de la entidad.

6.3. Elaboración de estrategias de gestión para la reducción de la huella de carbono en EMPOPASTO

Con el creciente incremento en el consumo de recursos y servicios, la preocupación por el impacto ambiental que generan las actividades propias de la empresa ha fundado la necesidad de implementar acciones que permitan la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, tras el análisis de la información se ha identificado que los alcances 1 y 2 correspondientes a las emisiones directas y el consumo de energía respectivamente son los que más impacto generan en comparación a las actividades asociadas a la cadena de valor de la empresa que son notoriamente bajas (alcance 3).

Por ello, en este apartado se presentan estrategias de gestión que permitan reducir las emisiones de GEI provenientes de las fuentes con mayores índices, esto desde alternativas que aborden las medidas técnicas aplicables a la organización como la optimización de los procesos mediante adopción de nuevas tecnologías, sostenibles y amigables con el medio ambiente pero también desde la sensibilización de los colaboradores para alcanzar de manera exitosa esta reducción.

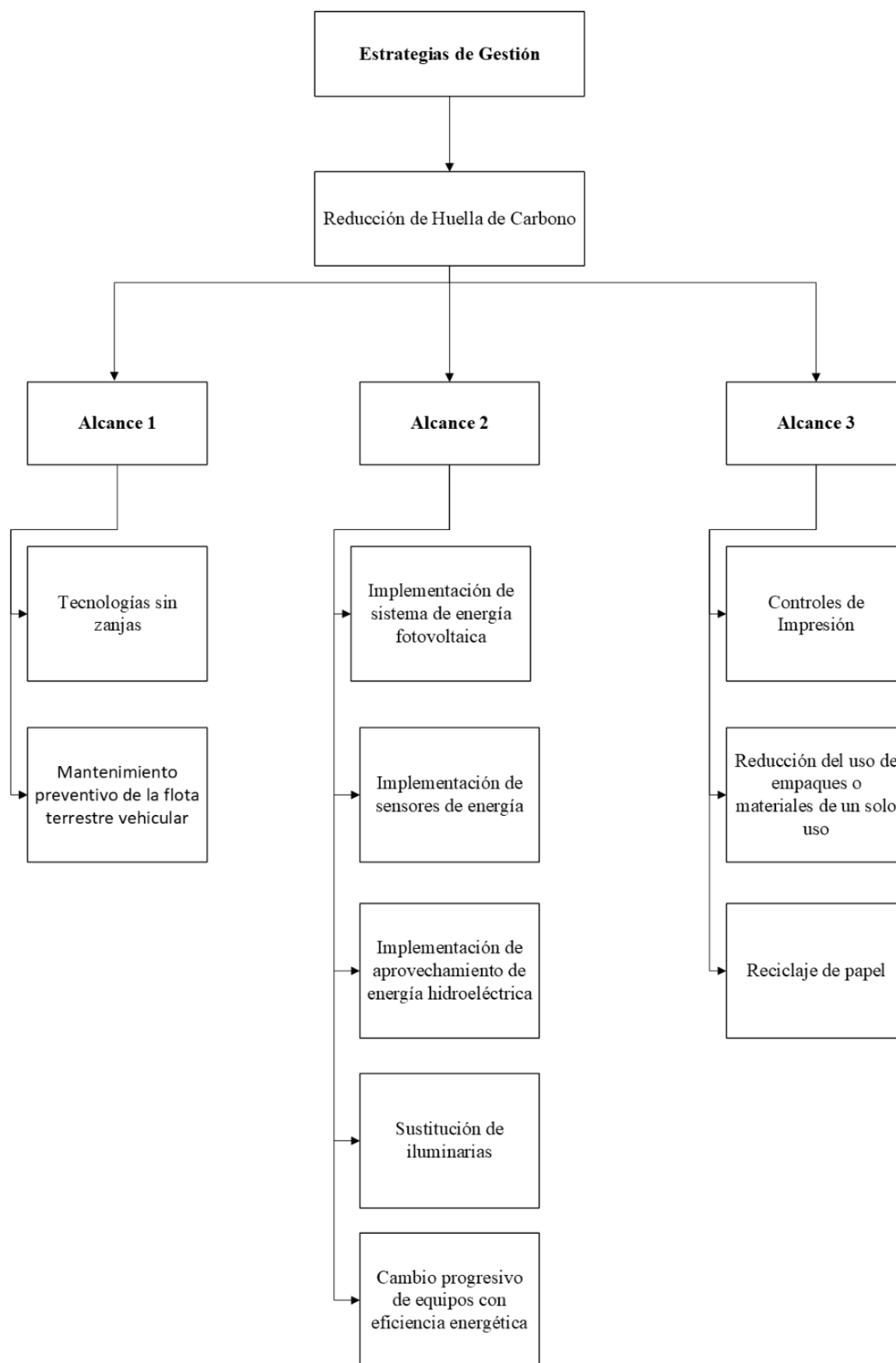
En primera instancia, en el alcance 1 se identificó que la flota vehicular de la empresa representa una fuente significativa de emisiones de CO₂, ante esta problemática, se plantea la implementación de estrategias innovadoras orientadas a la optimización de las actividades operativas. Éstas incluyen la exploración de tecnologías de mayor eficiencia energética, la incorporación de combustibles alternativos y la adopción de prácticas que favorezcan la disminución en el consumo de combustibles fósiles durante el desarrollo de las actividades diarias de la entidad.

Posterior a ello, en el alcance 2 donde se evaluó el consumo energético de la empresa, se identificó que la mayor cantidad de emisiones son producto de estas actividades y se requiere una intervención urgente para lograr la reducción de la huella de carbono de la entidad. Para ello, las estrategias que cumplen con este objetivo se ciñen a la implementación de energía

fotovoltaica, implementación de sensores de energía que permitan el monitoreo continuo del consumo, aprovechar la energía hidroeléctrica que se genera con todo el proceso de potabilización de agua, la sustitución de luminarias y el cambio paulatino de los equipos de alto consumo por otros más eficientes.

Finalmente, para el alcance 3, donde se evaluaron las emisiones indirectas de otros procesos propios de la entidad, en este caso las funciones administrativas, se propone la adopción total de la política de cero papel, la cual se implementa a través de la reducción paulatina del consumo de este recurso y la disminución del consumo de plástico de un solo uso. La figura 3 muestra las estrategias que se proponen a partir del análisis de cada uno de los alcances que componen la institución y las emisiones que se generan en cada uno de ellos.

Figura 3. Estrategias para la reducción de la huella de carbono.



Fuente: elaboración propia.

6.3.1. Estrategia de tecnología sin zanja: instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado.

Desde hace varios años se han desarrollado técnicas alternativas a la zanja abierta para la construcción, rehabilitación y renovación de acueductos y alcantarillados como alternativa para propietarios y prestadores de servicios de acueducto y alcantarillado, quienes buscan tecnologías innovadoras como las tecnologías sin zanja para extender la vida útil de los activos y reparar grandes longitudes de los sistemas de acueducto y alcantarillado (Naranjo, 2020). Es decir, se utilizan excavaciones mínimas en el terreno con las genealogías sin zanja, en pro de la reducción actividades operativas y de emisiones. Estas tecnologías protegen el medio ambiente, son menos contaminantes, utilizan los recursos de forma más sostenible y tratan los residuos de forma más aceptable que la tecnología convencional con zanja abierta (Alarcón Rocha & Pachecho Calvo, 2014).

Por otra parte, los estudios realizados para la investigación y cuantificación las emisiones de GEI, en especial la huella de carbono, en proyectos de instalación, renovación o rehabilitación de tuberías de acueducto o alcantarillado han obtenido resultados que exponen que al emplear tecnologías sin zanja en lugar de la técnica de zanja abierta se pueden reducir considerablemente las emisiones de CO₂ equivalente (Naranjo, 2020). También se encontró que las emisiones de CO₂ equivalente por metro de tubería instalada utilizando tecnología sin zanja son de 89,78 Kg CO₂ eq /m mientras que utilizando la zanja abierta este valor es de 493,65 Kg CO₂ eq /. Es consecuencia, puede reducirse la huella de carbono en 81,81% por metro lineal de CO₂ equivalente con la tecnología sin zanja, ya que, la zanja abierta libera más GEI a la atmosfera.

La tabla 12 muestra el plan de acción para la implementación de la estrategia de tecnología sin zanja.

Tabla 12. Plan de acción- estrategia de tecnología sin zanja

Estrategias de reducción de la huella de carbono	
ALCANCE 1	
ALCANCE	Esta estrategia de reducción de la huella de carbono aplica para las operaciones de instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado de EMPOPASTO- Pasto- Colombia
RESPONSABLE	Sistema de gestión ambiental
DOCUMENTO DE REFERENCIA	Cálculo de huella de carbono
OBJETIVO	Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los combustibles fósiles de EMPOPASTO
BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA	
Reducción de actividades operacionales de maquinaria pesada: teniendo en cuenta que las mayores emisiones se presentaron en el tipo de combustible ACPM en las fuentes móviles del alcance 1. Por ello, se sugiere utilizar técnicas de microtunelado con tubo piloto para diámetros entre 4-300 pulgadas, microtunelado para diámetros de 12-42 pulgadas y para diámetros mayores a 42 pulgadas se debe utilizar el pipe jacking o utility tunneling. Y para instalaciones de tuberías a presión (acueducto) se recomienda utilizar la técnica de horizontal directional drillig (HDD).	
SEGUIMIENTO Y CONTROL	
Registro y control de tecnología sin zanja: para obtener datos con bajo porcentajes de incertidumbre en emisiones, el control y seguimiento es necesario para obtener un indicador de emisión y optimizar el funcionamiento de estas tecnologías generando menores emisiones y a su vez menor consumo de combustibles como el ACPM	
INDICADOR	
(N° de instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado con tecnología sin Zanja / N° total de instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado) *100	
META	
Reducir el 30% de las emisiones de GEI de las fuentes móviles con respecto al año anterior	

Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Estrategia aprovechamiento de energía hidroeléctrica: instalación de una turbina que aproveche el exceso de presión de entrada del agua.

Un acueducto es un sistema o conjunto de sistemas de irrigación diseñado para el transporte de agua en forma de flujo continuo desde el lugar de captación disponible en la naturaleza, hasta un punto de consumo (Méndez & Triana, 2019); este transporte del agua permitió

identificar puntos donde se pueden aprovechar para la autogeneración de energía eléctrica de la empresa EMPOPASTO S.A a través de una turbina con el objeto de lograr la disminución significativa a los costos de energía adquirida y asociado con las emisiones de GEI. Cabe destacar que “las turbinas hidráulicas se componen de varios elementos que trabajan en conjunto” (Ayala & Ospina, 2020) y de esta manera se aprovecha todo el potencial energético que se puede extraer de varios cuerpos de agua y generar energía eléctrica.

En la planta de acueducto de Niza se generó energía eléctrica a partir del exceso de presión del agua de 3,5 equivalentes a 35 metros columna de agua, que fue posible por medio de una turbina que genera entre 45 y 50 kilovatios, el cual, representa un ahorro de 120 millones de pesos al año y una reducción de 114 toneladas de dióxido carbono en sus emisiones contaminantes del mismo periodo (Bonilla, J & Toro, C., 2017).

Por otro lado, el estudio de una micro central arrojó que la energía generada por el prototipo estudiado entrega 300 W y con el análisis obtenido, en una tubería de 4 pulgadas se evidencia que el flujo genera un empuje sobre el modelo, produciendo así un momento que se traduce en energía eléctrica con un valor de 298,5 Vatios, por lo tanto, es capaz de proporcionar energía a electrodomésticos básicos del hogar (Ayala & Ospina, 2020). Estos estudios dejan ver que es posible y viable el aprovechamiento y generación de energía a lo largo de toda la red desde la bocatoma hasta la distribución.

Mientras que el análisis de una micro central hidroeléctrica demostró que el prototipo estudiado es capaz de generar una potencia de 300 W. A partir del estudio realizado, se determinó que, en una tubería de 4 pulgadas, el flujo genera un empuje sobre el modelo, lo que produce un momento que se convierte en energía eléctrica con un valor de 298,5 W (Ayala & Ospina, 2020). Estos investigadores también expresaron que esta capacidad de generación permite abastecer electrodomésticos básicos en un entorno residencial.

De esta manera se sustenta la viabilidad técnica y operativa del aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía a lo largo de la red de acueducto, desde la

bocatoma hasta la etapa de distribución, lo que representa una alternativa sostenible para optimizar el uso de la energía en el sector. La tabla 13 describe el plan de acción para la estrategia de aprovechamiento de energía hidroeléctrica.

Tabla 13. Plan de acción- estrategia de aprovechamiento de energía hidroeléctrica.

Estrategias de reducción de la huella de carbono	
ALCANCE 2	
Demanda de energía eléctrica - aprovechamiento de energía hidroeléctrica	
ALCANCE	Esta estrategia de reducción de la huella de carbono aplica para las instalaciones de la sede Mijitayo y Centenario de EMPOPASTO-Pasto- Colombia
RESPONSABLE	Sistemas integrados de gestión
DOCUMENTO DE REFERENCIA	Cálculo de la huella de carbono
OBJETIVO	Reducir la demanda de energía eléctrica adquirida por EMPOPASTO
BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA	
Implementación de nuevas fuentes de energía renovables: la estrategia se encuentra apoyada por la alta dirección. Siendo este, una alternativa novedosa y un sistema innovador de producción de energía eléctrica disponible para sus operaciones diarias que realiza EMPOPASTO, que lo lleva hacer pionero en la región por este método. Se pretende realizar la instalación en las sedes de Mijitayo y Centenario.	
SEGUIMIENTO Y CONTROL	
Registro, mantenimiento y control de producción de energía eléctrica: para obtener una trazabilidad es necesario obtener datos de la generación de energía, como también el mantenimiento para lograr un óptimo funcionamiento y disminuir de la dependencia de energía por terceros.	
INDICADOR	
(kWh producidos por energía renovable hidroeléctrica / kWh total de energía consumida por la empresa) *100	
META	
Reducir el 45% del consumo de energía eléctrica con respecto al año anterior	

Fuente: elaboración propia

6.3.3. Estrategia aprovechamiento de energía fotovoltaica: implementación de sistemas de paneles solares para la generación de energía.

La implementación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica representa una estrategia óptima para la entidad ya que esta configuración permite la gestión bidireccional de la energía, facilitando el consumo o la inyección de excedentes a la red local. Esto se establece según el balance entre la generación y la demanda energética, es decir un déficit o superávit entre los meses y, adicional a ello, la adopción de sistemas *on-grid* puede resultar en una reducción de hasta el 40% en los costos de la facturación eléctrica.

Se recomienda a la entidad diversificar su matriz energética, lo cual fortalecería su seguridad energética. Por otra parte, se espera que, con la generación de energía eléctrica de la instalación solar fotovoltaica, el acueducto sea capaz de ahorrar un 62,10% en el costo de la factura de energía eléctrica mensual en la implementación de un sistema solar fotovoltaico como fuente de energía eléctrica para el acueducto y la planta de tratamiento de aguas del municipio de Güepsa en el departamento de Santander (Viedra & Prada, 2022). Cabe mencionar que, este es un sistema *on-grid* y que su capacidad de generar energía depende en gran parte del área disponible en las instalaciones para la implementación del sistema.

La tabla 14 plasma el plan de acción para la estrategia de aprovechamiento de energía fotovoltaica.

Tabla 14 Plan de acción- estrategia de aprovechamiento de energía fotovoltaica

Estrategias de reducción de la huella de carbono	
ALCANCE 2	
Demanda de energía eléctrica - Implementación de sistemas de energía fotovoltaica	
ALCANCE	Esta estrategia de reducción de la huella de carbono aplica para las instalaciones de EMPOPASTO- Pasto- Colombia
RESPONSABLE	Sistemas integrados de gestión
DOCUMENTO DE REFERENCIA	Cálculo de la huella de carbono

Estrategias de reducción de la huella de carbono	
ALCANCE 2	
Demanda de energía eléctrica - Implementación de sistemas de energía fotovoltaica	
OBJETIVO	Reducir el consumo de energía eléctrica de las instalaciones de la empresa
BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA	
Implementación de sistemas fotovoltaicos: la estrategia se encuentra apoyada por la alta dirección. Siendo este, una alternativa viable en las instalaciones de la planta física de EMPOPASTO que generan unos beneficios ambientales y económicos. Se pretende realizar la instalación de paneles solares en los espacios disponibles en la parte de arriba de las edificaciones, áreas que están sin aprovechar, que puede ser utilizado para producción de energía eléctrica como otra fuente de respaldo. Venta de excedente de energía, además de los beneficios tributarios del gobierno.	
SEGUIMIENTO Y CONTROL	
Registro y control de mantenimiento de equipos: el mantenimiento de equipos es necesario realizar cada seis meses revisando los estados del equipo y cada tres meses realizar una limpieza para lograr una optimización en el funcionamiento de los paneles solares, y garantizar una producción adecuada, así mismo, se debe llevar un registro y monitoreo de la producción de energía entregada al sistema.	
INDICADOR	
(kWh producidos por energía renovable fotovoltaica / kWh total de energía consumida por la empresa) *100	
META	
Reducir el 25% del consumo de energía eléctrica con respecto al año anterior	

Fuente: elaboración propia.

6.3.4. Estrategia sustitución de iluminarias: nuevas iluminarias LED

La optimización del consumo energético adquiere relevancia en el contexto actual, impulsada por una creciente concientización ambiental en torno a la eficiencia energética, este fenómeno se fundamenta en la necesidad de mitigar los efectos del calentamiento global, el cual incide directamente en la alteración en el cambio climático.

De modo que, ahorrar energía, parte del beneficio obtenido con el uso de bombillas LED puesto que consumen ocho veces menos que un halógeno y la mitad de un ahorrador, reproducen los colores con gran fidelidad, no queman, tienen encendido inmediato llegando a su máxima potencia al encender, mayor vida útil, reducen las emisiones de CO₂ y no contienen mercurio, plomo ni cadmio (Gutiérrez, 2015). Asimismo, Gutiérrez afirma que la sustitución de luminarias fluorescentes a LED representa hasta un 56% de reducción de las emisiones.

En consecuencia, se propone la sustitución de luminarias convencionales por luminarias LED en las instalaciones de la entidad, para este caso, la tabla 15 muestra el plan de acción que respalda la estrategia.

Tabla 15. Plan de acción- estrategia sustitución de luminarias.

Estrategias de reducción de la huella de carbono ALCANCE 2 Demanda de energía eléctrica - Sustitución de iluminarias	
ALCANCE	Esta estrategia de reducción de la huella de carbono aplica para las instalaciones de EMPOPASTO- Pasto- Colombia
RESPONSABLE	Sistema de gestión ambiental
DOCUMENTO DE REFERENCIA	Cálculo de la huella de carbono
OBJETIVO	Sustitución de iluminarias para reducir el consumo de energía eléctrica de las instalaciones de la empresa
BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA	
Implementación de nuevas iluminarias: la estrategia se centra en evaluar y determinar la cantidad de luminarias a cambiar, realizando el requerimiento de nuevas luminarias LED teniendo en cuenta las características de las instalaciones, con la finalidad de que disminuya el consumo energético en la empresa. una alternativa viable en las instalaciones de la planta física de EMPOPASTO que generan reducción de consumo, costos y genera beneficios ambientales.	
SEGUIMIENTO Y CONTROL	
Registro y control de mantenimiento de iluminarias: el registro se debe realizar para cada iluminaria LED nueva que se instale y el mantenimiento de las iluminarias es necesario realizar cada vez que termine su vida útil u otro evento extraordinario suceda que impida el correcto funcionamiento de este.	

Estrategias de reducción de la huella de carbono ALCANCE 2 Demanda de energía eléctrica - Sustitución de iluminarias
INDICADOR
(iluminarias LED cambiadas / total de iluminarias LED identificas para cambio) *100
META
Reducir el 30% de iluminarias viejas con respecto al año anterior

Fuente: elaboración propia.

6.3.5. Estrategia ahorro de papel: disminuir el consumo de papel

La implementación de la impresión a doble cara es adoptada como política institucional, ya que contribuye a la prolongación del ciclo de vida útil del papel y a la reducción del consumo. Se recomienda la digitalización de los procesos internos en la mayor medida posible, fomentando el uso de la intranet y las comunicaciones electrónicas externas. Esto permitirá minimizar la impresión de documentos, restringiéndola a aquellos que sean estrictamente necesarios y estratégicos. Además, el decreto 019 de 2012 promueve el uso de tecnologías de la información y las comunicaciones en la administración pública para mejorar la eficiencia y reducir el uso de papel. La tabla 16 muestra el plan de acción para la estrategia de ahorro de papel en la empresa EMPOPASTO S.A.

Tabla 16. Plan de acción – estrategia ahorro de papel

Estrategias de reducción de la huella de carbono ALCANCE 3 Consumo de papel	
ALCANCE	Esta estrategia de reducción de la huella de carbono aplica para las instalaciones de EMPOPASTO- Pasto- Colombia
RESPONSABLE	Sistema de gestión ambiental
DOCUMENTO DE REFERENCIA	Cálculo de huella de carbono
OBJETIVO	Reducir el consumo de papel de las instalaciones de EMPOPASTO
BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA	

Estrategias de reducción de la huella de carbono ALCANCE 3 Consumo de papel
Establecer controles de impresión: existen software con capacidad de contabilizar y controlar el número de impresiones y relación de archivos a imprimir, esto permite llevar un registro más eficiente del consumo por papel por persona. Generación de incentivos: incentivar a los usuarios a recibir su información de resultados de las actividades ofrecidas por la empresa de acueducto y alcantarillado por medio digital, que conlleva, a la disminución respectiva del consumo de papel Medidas de compensación: deberían realizar una compensación a través de la siembra y conservación de árboles en un área de interés ambiental o en el área forestal protectora de una fuente hídrica, estas actividades tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo y equivalente al impacto ambiental generado.
SEGUIMIENTO Y CONTROL
Registro y control del consumo de papel: se debe llevar un registro de la cantidad de hojas o resmas de papel que se utilizan en el mes y en el año para llevar un consumo responsable de este material.
INDICADOR
(No° de resmas utilizadas mes o año actual/ No° de resmas utilizadas mensual o anual del año anterior) *100
META
Reducir el 15% del consumo de papel con respecto al año anterior

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Teniendo en cuenta todos los datos y resultados obtenidos tras el análisis de la empresa EMPOPASTO, se concluye que la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) corresponde al consumo de energía eléctrica adquirida, inmersa en la evaluación de las emisiones del alcance dos de la metodología propuesta por el Protocolo GHG. Asimismo, en base en las investigaciones realizadas, se identificó que diversas empresas del sector, incluyendo la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio y EMPOPASTO, coinciden en que la mayor contribución a sus emisiones de GEI proviene de la demanda de energía eléctrica utilizada en sus operaciones.

Se constata la necesidad de implementar un sistema de gestión de la huella de carbono basado en la norma ISO 14064, para asegurar la medición, el monitoreo y la verificación de las emisiones de GEI de manera continua y transparente. La implementación de dicho sistema permitirá la presentación de la información de manera estructurada, asegurando la trazabilidad de los datos. Por tanto, el cálculo de la huella de carbono fue útil para llevar a cabo la exploración de las emisiones de la empresa para así determinar las emisiones generadas en cada una de las actividades tanto operativas como administrativas.

Se destaca que, para aspirar a la certificación ISO 14064, la entidad debe profundizar en aspectos críticos de la huella de carbono, particularmente en el alcance 2. Se requiere un registro y análisis más detallado del consumo energético, de forma manual o bien, contar con la implementación de sistemas de monitorización en tiempo real con sensores. Estas medidas son importantes para la consecución de la certificación que facilitará la cuantificación e inventario de GEI y la elaboración de un plan de acción de mejora que refleje con mayor precisión la realidad operativa permitiendo una mejora continua.

Los resultados de este estudio resaltan la importancia de la gestión de la huella de carbono en empresas de acueducto y alcantarillado, dada su alta intensidad de demanda

energética y su impacto en el recurso hídrico. Y la importancia de buscar estrategias de prevención, mitigación o compensación.

Los resultados de este estudio enfatizan la relevancia de la gestión de la huella de carbono en empresas de acueducto y alcantarillado, considerando su elevada demanda energética y el impacto asociado en el recurso hídrico. Asimismo, se resalta la necesidad de implementar estrategias orientadas a la prevención, mitigación y compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero, con el fin de optimizar la sostenibilidad ambiental de sus operaciones.

Recomendaciones

Se recomienda a la entidad implementar las estrategias de reducción de emisiones propuestas, priorizando aquellas con mayor potencial de mitigación y viabilidad técnica y económica mediante el correcto seguimiento y evaluación de los programas definidos en el plan de acción para así realizar los ajustes necesarios para garantizar una reducción de emisiones efectiva.

Es fundamental el fomento de las capacitaciones a los colaboradores de la empresa en materia de prácticas de sostenibilidad y contar con sus valiosas opiniones para formular nuevas estrategias tras la sustentación adecuada de la problemática vigente. Además, se recomienda a la entidad la búsqueda de alianzas estratégicas con organizaciones expertas en la reducción de los impactos generados en las actividades operativas y administrativas, con el fin de garantizar la maximización de los resultados.

Referencias

- Alarcón Rocha, J. A., & Pachecho Calvo, J. L. (2014). Comparación tecnológica y costos del método de instalación de tuberías sin zanja (trenchless) más eficiente para los suelos encontrados en un proyecto de Bogotá. FACULTAD DE INGENIERÍA. Pontificia Universidad Javeriana., Bogotá.
- Ayala-Almeciga, J. S., & Ospina-Mendoza, M. J. (2020). Modelo virtual de una micro turbina hidráulica en una red de acueducto para la producción de energía eléctrica. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/74ef932e-3f90-4d16-a303-7df2be4cdb98>
- Betancur, O. A. (2023). Plan de Eficiencia administrativa y cero papeles. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/35233>
- Bonilla, J.J., Toro, C.G (14 de octubre de 2017). *Planta de agua de Niza en Manizales ya genera su propia electricidad.* Samaná Caldas. <https://www.samanacaldas.net.co/notiver.php?idnoticia=1933>
- Cardona, D., Tamayo, J. A., & Eslava-Garzón, J. S. (2024). Hacia una matriz energética sostenible en Colombia. Una revisión sistemática de la literatura. *Información tecnológica*, 35(5), 1-16. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v35n5/0718-0764-infotec-35-05-1.pdf>
- Cifuentes Castellanos, NA Cálculo de la huella de carbono para el despacho de la Regional Distrito Capital del Sena.
- Crespo Garay, C. (2022). *¿Cómo impactan las emisiones de gases de efecto invernadero de los aviones en la calidad del aire?* National Geographic. <https://shorturl.at/tZRJ5>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2013). *Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial*.
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade1b0319769.pdf>

Cuaical Cabrera, AL (2023). Cálculo de la huella ecológica en la subsecretaría de economía regional y agua potable-plan departamental de agua Nariño.

EAB-ESP (2015). *Informe de gases de efecto invernadero (GEI) de la eab-esp*.
https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/1_Informe_GEI_EAB_2015.pdf

Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A. E.S.P. (2021). *Plan Estratégico 2021-2024 “El agua, la fuerza que nos mueve”*.

Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A. E.S.P. (2023). *Misión, visión, valores corporativos*. <https://empopasto.com.co/publicaciones/4/mision-vision-funciones-y-deberes/>

Empresa de Obras Sanitarias de Pasto, EMPOPASTO S.A. E.S.P. (2023). *Organigrama*.
<https://empopasto.com.co/publicaciones/93/organigrama/>

Fazio, Simone; Pennington, David (1999). *Granulado de polietileno de baja densidad (PE-LD). Mezcla de producción de planta (Ubicación: RER). Comisión Europea, Centro Común de Investigación (JRC)*. [Conjunto de datos]. PID: <http://data.europa.eu/89h/jrc-eplca-46c09193-ab51-43ae-957f-e6383b7e73d>

Franchetti, MJ, & Apul, D. (2012). *Análisis de la huella de carbono: conceptos, métodos, implementación y estudios de casos*. CRC press. <https://shorturl.at/RRtur>

Goyanes, J. C. (2014). *Diseño y validación de un procedimiento de cálculo de la huella de carbono en una administración local* (Doctoral dissertation, Universidad Miguel Hernández de Elche).

Gutiérrez Hernández, MC (2015). Iluminación Led: ahorro, eficiencia e innovación: proyecto de mejora de la iluminación de un hotel.
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1142/ILUMINACION?sequence=1>

IPCC (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>

Kiemel, S., Rietdorf, C., Schutzbach, M. y Mieke, R. (2022). Cómo simplificar la evaluación del ciclo de vida para aplicaciones industriales: una revisión exhaustiva. *Sustainability* , 14 (23), 15704.

Martínez Marín, MJ y Bustamante Zapata, AM (2019). Análisis de la huella de carbono para los alcances 1 y 2 del Greenhouse Gas Protocol (GHG) en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e4d75854-d023-486a-bc13-e9382de9e01b/content>

Márquez Vera, J. A. (2020). Análisis de la huella de carbono de la Asociación de usuarios de los servicios públicos de la Paila ASEPAILA, bajo el marco del desarrollo sostenible.

Méndez-Ordóñez, S., & Triana-Melo, A. (2019). Análisis del estado actual del acueducto del corregimiento de Tobia, Cundinamarca, y sus recomendaciones técnicas para su mejoramiento. [Tesis de Pregrado]
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/77fd02d2-4203-4ef4-bff3-ee19e76fa5b7/content>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021). *Guía para la optimización energética en sistemas de tratamiento de agua*.
https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/15122021_g_optimizacion-energetica-v15.pdf

Morote, Á. F., & Olcina Cantos, J. (2023). Cambio climático y educación: Una revisión de la documentación oficial. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 69(1), 0107-134.

Naranjo Calvo, V. O. (2022). Huella de carbono de la instalación y/o renovación y/o rehabilitación de tuberías de acueducto y alcantarillado: Zanja abierta vs. tecnologías sin zanja. [Tesis de Maestría]
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e59643b1-9db7-463c-851c-f113a2f7ba38/content>

Páez, I. C., Vargas, A. C. P., Cortázar, L. O., & Berrio, S. P. R. (2016). Alcance y gestión de la huella de carbono como elemento dinamizador del branding por parte de empresas que implementan estas prácticas ambientales en Colombia. *Estudios gerenciales*, 32(140), 278-289.

Patricia, C. M. M., Daniela, A. C. J., David, R. M. J., & Dario, S. M. O. (2018). Diseño de un sistema de gestión integrado bajo la NTC ISO 14001: 2015, NTC ISO 50001: 2011, NTC ISO 14064-2: 2006 e ISO 26000: 2010 para la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EPS (EAB-ESP).
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/entities/publication/9f18d7fc-5385-4ea5-a470-d824c95ce54f>

Pérez, MLB, Ávila, OA, & Montagut, LB (2020). Estimación del potencial de calentamiento global en un sistema de potabilización de un acueducto municipal en

Colombia. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 18 (1), 11-16.

<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/bistua/article/view/206/978>

Vieda Diaz, JP, & Prada Sierra, JA (2022). Estudio de factibilidad técnica operativa y económica para la implementación de un sistema solar fotovoltaico como fuente de energía eléctrica para el acueducto y la planta de tratamiento de aguas del municipio de Güepa, ubicado en el departamento de Santander. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/42d13845-c04b-4922-a4c4-8e0fada000e9/content>

Villafuerte, N. M., & Huaman, S. C. (2021). Huella de carbono en Latinoamérica como herramienta de medición de impacto ambiental en Instituciones privadas, 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 10018-10038.

World Resources Institute (s.f.). *Protocolo de gases de efecto invernadero (GEI)*. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. *Edición revisada*. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf