



# Gestión Ambiental

**"Innovación para la Sostenibilidad:  
Del Carbono a la Biodiversidad"**



---

# Gestión Ambiental

## "Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad"

### **Autoridades Académicas**

Presidente / PhD. Oscar Orlando Porras Atencia  
Vicerrector / Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo  
Directora Escuela de Ingeniería Agroindustrial / Ing. Esp. Ana Milena Salazar Beleño  
Director Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento / Ing. Mg. Sergio Antonio Rodríguez Arrieta  
Directora Escuela Ingeniería de Producción / Ing. MBA. Angélica María Cervantes Ordóñez  
Director Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia / MVZ. MBA. Jorge Eliécer Franco Rodríguez  
Director Escuela Ingeniería Agronómica / Ing. Esp. Rafael Calderón Silva  
Directora Escuela Ciencias / Lic. Mg. Kelly Johana Gómez Jiménez  
Director Escuela Ciencias Sociales / Lic. Mg. Rodolfo Ríos Beltrán

### **Comité Editorial**

Rector / PhD. Oscar Orlando Porras Atencia  
Vicerrector / Biol. MBA. Kelly Cristina Torres Angulo  
Directora de Investigación y Proyección Social / Ing. Esp. Mónica María Pacheco Valderrama, MSc  
Coordinadora de Editorial / Ing. Esp. Janice Ballesteros, MBA  
Representante de los editores de las revistas científicas institucionales / Ing. Esp. Janice Ballesteros, MBA  
Representante Escuela de Ingeniería Agroindustrial / Leidy Carolina Ortiz Araque  
Representante Escuela Ingeniería Ambiental y de Saneamiento / David Arsenio Rueda  
Representante Escuela Ingeniería de Producción / Lina Patricia León Galeano  
Representante Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia / Rodolfo Ruiz Posada  
Representante Escuela Ingeniería Agronómica / Leonardo Correa Rueda  
Representante Escuela Ciencias / Catalina Silva



Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ  
[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

---

---

# Gestión Ambiental

## "Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad"

Autores: Meza Carlos M\*, Carvajal Efraín Y., Flórez Omar D., Gaviria, Julián A., Beltrán, Arley Y., Peña Jennifer A., Gutiérrez David A., Espinosa Adriana M., y Torres Kelly C.

Especialización en Gestión Ambiental  
Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento  
Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental GIAS\*  
Grupo de Investigación SerLab  
Grupo de Investigación BioCon

Cita obra completa: Meza Carlos M., Carvajal Efraín Y., Flórez Omar D., Gaviria, Julián A., Beltrán, Arley Y., Peña Jennifer A., Gutiérrez David A., Espinosa Uribe, Adriana Milena., y Torres Kelly C. (2025). Gestión Ambiental: Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad. Libro de divulgación. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ). ISBN: 978-958-5542-93-8.

ISBN: 978-958-5542-93-8

Fechas de publicación: 24 de enero de 2025

Formato: iBook

Tipo de soporte: Libro digital descargable

Editor: Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ

Edición: MSc. Carlos Mauricio Meza Naranjo

Correo: carlos.meza@unipaz.edu.co

Municipio de Barrancabermeja / Departamento de Santander / País Colombia

Los trabajos son de responsabilidad de cada autor.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro,  
por cualquier medio, sin permiso expreso de la editorial.

Se puede acceder a una versión en PDF en [www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co), Editorial UNIPAZ  
País Colombia, departamento de Santander, municipio de Barrancabermeja.

---

## CONTENIDO

**ACCIONES PARA LA DESCARBONIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROCARBUROS.** *Aguilar Villarreal, Alison Yineth., Camacho Campos, Jhon Sebastian., Carvajal Carvajal, Efraín Yesitd., Flórez Montesino, Omar Danilo y Meza Naranjo, Carlos Mauricio.*

Pág.

8

Cita: Aguilar Villarreal, Alison Yineth., Camacho Campos, Jhon Sebastian., Carvajal Carvajal, Efraín Yesitd., Flórez Montesino, Omar Danilo y Meza Naranjo, Carlos Mauricio. (2025). ACCIONES PARA LA DESCARBONIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROCARBUROS. En Gestión Ambiental: Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad. Libro de divulgación. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ). ISBN: 978-958-5542-93-8.

**HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN COLOMBIA.** *Mayorga Villalba, Lilia Adriana., Gaviria Calvajal, Julián Andrés., Peña Bernal, Jennifer Andrea., y Meza Naranjo, Carlos Mauricio.*

44

Cita: Mayorga Villalba, Lilia Adriana., Gaviria Calvajal, Julián Andrés., Peña Bernal, Jennifer Andrea., y Meza Naranjo, Carlos Mauricio. (2025). HUELLA DE CARBONO COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN MiPymes DEL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES. En Gestión Ambiental: Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad. Libro de divulgación. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ). ISBN: 978-958-5542-93-8.

**SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN VIVIENDAS DE BARRANCABERMEJA.** *Franco Trillos, Kelly Johana., Gaviria Carvajal, Julián Andrés., Flórez Montesino, Omar Danilo y Meza Naranjo, Carlos Mauricio.*

66

Cita: Franco Trillos, Kelly Johana., Gaviria Carvajal, Julián Andrés., Flórez Montesino, Omar Danilo y Meza Naranjo, Carlos Mauricio. (2025). SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN VIVIENDAS DE BARRANCABERMEJA. En Gestión Ambiental: Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad. Libro de divulgación. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ). ISBN: 978-958-5542-93-8.

**HUELLA DE CARBONO COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN MiPymes DEL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES.** *Palencia Martínez, Yagnio Amir., Gaviria Carvajal, Julián Andrés., Beltrán Osma, Arley Yesid y Meza Naranjo, Carlos Mauricio.*

90

Cita: Palencia Martínez, Yagnio Amir., Gaviria Carvajal, Julián Andrés., Beltrán Osma, Arley Yesid y Meza Naranjo, Carlos Mauricio. (2025). HUELLA DE CARBONO COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN MiPymes DEL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES. En Gestión Ambiental: Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad. Libro de divulgación. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ). ISBN: 978-958-5542-93-8.

## **Editorial**

La sostenibilidad constituye uno de los desafíos más urgentes y complejos del siglo XXI, y la necesidad de transformar los modelos de desarrollo económico y social es más evidente que nunca. Frente a esta realidad, el libro *Gestión Ambiental: Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad*, surge como una contribución esencial para comprender y abordar los retos ambientales contemporáneos. Este primer volumen compila un conjunto de estudios y análisis técnicos que proponen soluciones innovadoras para mitigar el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente, destacando la importancia de una transición hacia una economía sostenible, con un enfoque en la reducción de huella de carbono y la maximización de la eficiencia.

Cada uno de los capítulos ofrece una visión distinta de los principales problemas ambientales que enfrentamos hoy, con un enfoque integral que va desde la descarbonización de sectores clave hasta la adopción de tecnologías avanzadas para apoyar la transición energética. Los estudios incluidos no solo analizan las estrategias implementadas en diversas industrias, sino que también presentan propuestas vanguardistas que buscan mejorar las prácticas de gestión ambiental a través de enfoques innovadores y tecnológicamente avanzados.

El capítulo *Acciones para la Descarbonización en el Sector Hidrocarburos* aborda un área crucial en la lucha contra el cambio climático: la industria energética. A través de un análisis exhaustivo, se revisan las medidas que los actores principales de este sector están implementando para reducir sus emisiones, tales como la electrificación de las operaciones, la integración de energías renovables y la adopción de tecnologías limpias. Este estudio no solo documenta las iniciativas actuales, sino que también reflexiona sobre los retos y las oportunidades que la industria enfrenta al intentar cumplir con los ambiciosos objetivos climáticos internacionales.

En *Huella de Carbono en la Construcción de Infraestructura Vial en Colombia*, se examina el impacto ambiental del sector de la construcción, uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero. El capítulo analiza cómo el uso de biocombustibles, materiales reciclados y nuevas metodologías en la construcción pueden transformar este sector, reduciendo su huella de carbono y optimizando los ciclos de vida de las infraestructuras. Se resalta, además, el potencial de estas prácticas para promover una construcción más sostenible y menos destructiva para el medio ambiente.

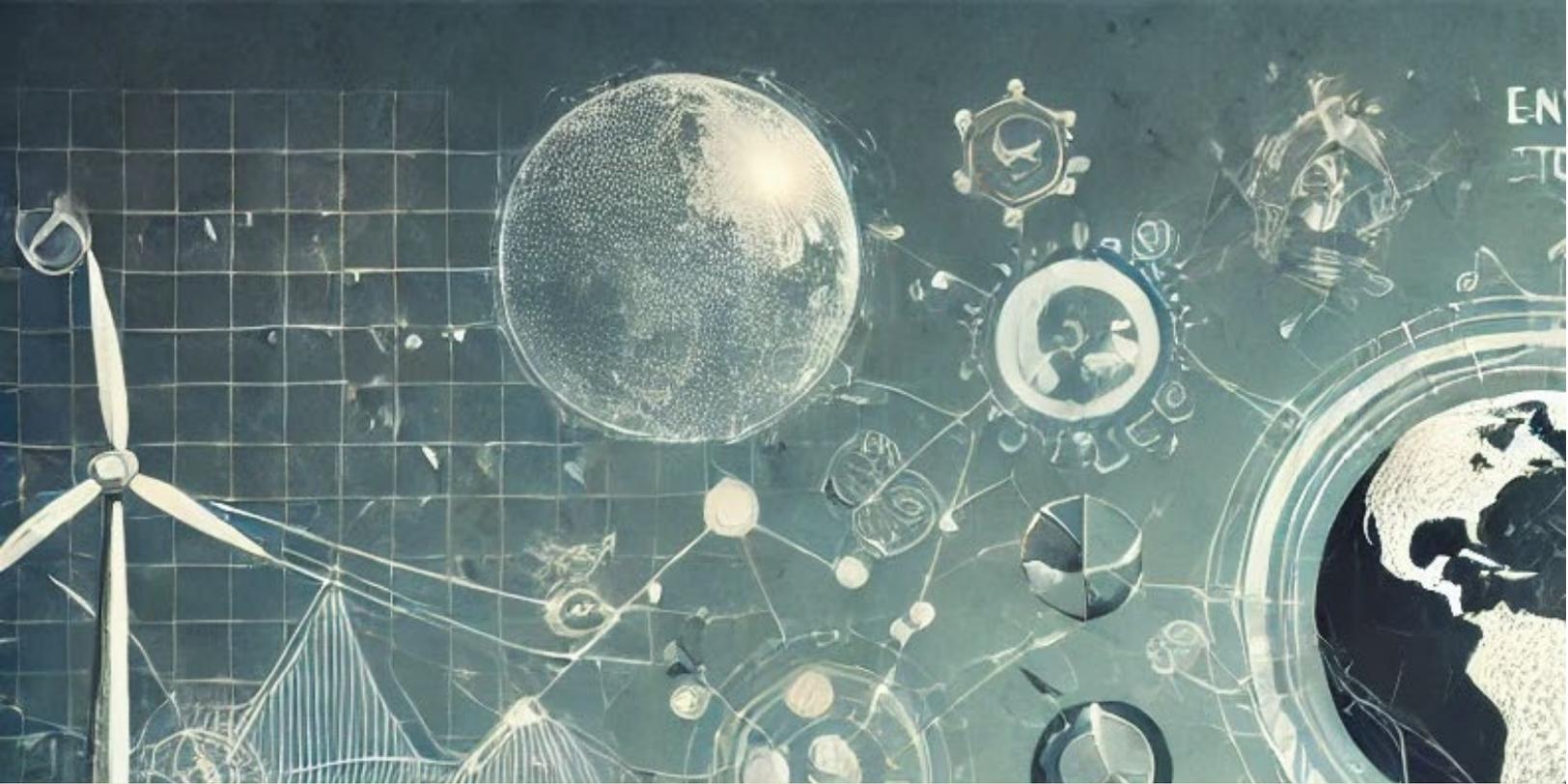
El capítulo dedicado a *Sistemas de Energía Fotovoltaica en Viviendas de Barrancabermeja* presenta una solución accesible y escalable para comunidades vulnerables. A través de la integración de paneles solares, esta iniciativa busca reducir la dependencia de fuentes de energía tradicionales y mejorar la calidad de vida de los habitantes, al mismo tiempo que promueve una transición energética equitativa. Este estudio profundiza en la viabilidad técnica de la implementación de energía solar

fotovoltaica en viviendas, subrayando su rol clave en la reducción de la pobreza energética y en la construcción de comunidades más resilientes.

Finalmente, el proyecto en desarrollo Huella de Carbono como Instrumento de Gestión Ambiental en MiPymes del Sector de las Telecomunicaciones ofrecerá un enfoque innovador que permitirá a las pequeñas y medianas empresas (MiPymes) adoptar modelos de negocio más sostenibles. A través de esta iniciativa, se buscará reducir el impacto ambiental de estas empresas, al mismo tiempo que se fomentará su competitividad mediante la implementación de prácticas innovadoras y el uso eficiente de los recursos.

En conjunto, este libro se establece como una referencia crucial para expertos, académicos, estudiantes y responsables de la toma de decisiones, proporcionando tanto un marco teórico robusto como soluciones prácticas para avanzar hacia una economía baja en emisiones. Al integrar un enfoque técnico con propuestas disruptivas, invita a los lectores a tomar el liderazgo en el proceso de transformación hacia un futuro más justo y sostenible, enfrentando con determinación los retos globales y sectoriales de áreas tan estratégicas como los hidrocarburos, la construcción, la energía y las telecomunicaciones.

**Espinosa Adriana M.**



## **"Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad"**



# ACCIONES PARA LA DESCARBONIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROCARBUROS

Aguilar Villarreal, Alison Yineth., Camacho Campos, Jhon Sebastian., Carvajal Carvajal, Efraín Yesitd., Flórez Montesino, Omar Danilo., y Meza Naranjo, Carlos Mauricio\*  
[omar.florez@unipaz.edu.co](mailto:omar.florez@unipaz.edu.co), [efrain.carvajal@unipaz.edu.co](mailto:efrain.carvajal@unipaz.edu.co), [carlos.meza@unipaz.edu.co](mailto:carlos.meza@unipaz.edu.co)

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ

\*Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental GIAS-UNIPAZ

## RESUMEN

La descarbonización en el sector hidrocarburos es un tema crucial para mitigar el cambio climático y alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. Este estudio analiza las acciones implementadas por empresas del sector para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, abordando el problema de que el sector hidrocarburos es uno de los principales emisores de CO<sub>2</sub>, contribuyendo significativamente al calentamiento global. En Colombia, Ecopetrol emitió 165.8 millones de toneladas CO<sub>2</sub>e en 2023, evidenciando la necesidad urgente de implementar estrategias en reducir las emisiones. El objetivo general es analizar las acciones implementadas por el sector hidrocarburos para la descarbonización, empleando una metodología de revisión de literatura secundaria sobre acciones implementadas y/o propuestas en el sector para reducir sus emisiones, utilizando bases de datos y ecuaciones de búsqueda específicas para identificar estrategias relevantes. Los principales hallazgos Ecopetrol, Cepsa (moeve) y Canacol han adoptado estrategias diversas para reducir emisiones y aumentar el uso de energías renovables. Ecopetrol ha reducido 1.491.644 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente y aumentado su capacidad en energías renovables a 472 MW. Cepsa ha lanzado la estrategia "Positive Motion 2030" para reducir emisiones y alcanzar la neutralidad de carbono. Canacol ha incrementado el uso de energía hidro-solar y mantiene un récord de cero consumos de diésel. Las empresas están realizando inversiones para impulsar la transición energética, como la inversión de Ecopetrol de USD\$140 millones anuales hasta 2040 para el desarrollo de hidrógeno de bajo carbono, la inversión de Cepsa de 7.000 a 8.000 millones de euros para impulsar la transición energética y la inversión de Canacol de \$132,000 dólares para el desarrollo de energías renovables. Además, están implementando iniciativas de reducción de emisiones, como la electrificación de operaciones utilizando energía renovable, el control estricto de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y la mejora de la eficiencia energética.

## Palabras claves

Carbono Neutro, Tecnologías, Soluciones Naturales del Clima.

CONTENIDO	Pág.
IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES DE DESCARBONIZACIÓN ADOPTADAS POR LAS EMPRESAS DEL SECTOR HIDROCARBUROS	<a href="#">10</a>
CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES Y TECNOLOGÍAS INNOVADORAS	<a href="#">17</a>
COMPARACIÓN DE ACCIONES DE DESCARBONIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROCARBUROS	<a href="#">35</a>

## CONTEXTO

El sector de hidrocarburos en Colombia es fundamental por su contribución a la economía nacional; sin embargo, su impacto ambiental es considerable. Las operaciones de extracción, producción, refinación, almacenamiento y transporte de hidrocarburos han generado múltiples problemas ambientales, afectando tanto el ecosistema como la sociedad. La quema de combustibles fósiles, como el carbón, el gas natural y el petróleo, en los procesos de generación de energía y transporte, resulta en emisiones significativas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Emisiones de Dióxido de Carbono | US EPA, 2024), un factor clave en la degradación ambiental y en el avance del cambio climático.

La combustión de estos combustibles fósiles contribuye directamente a la contaminación atmosférica y a la producción de gases de efecto invernadero (GEI), afectando la salud humana y los recursos naturales. De acuerdo con Rodríguez (2023), los contaminantes emitidos en estos procesos deterioran la calidad del aire, mientras que los GEI acumulados en la atmósfera incrementan las temperaturas globales. Naciones Unidas ha advertido que el cambio climático es un desafío global impulsado por actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles, que intensifican el calentamiento de la atmósfera y agravan la crisis climática (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En el contexto colombiano, las cifras son alarmantes: para 2023, Ecopetrol reportó emisiones de aproximadamente 165.8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Ecopetrol, 2024), un incremento frente a los 160.6 millones de toneladas emitidas en 2022 (Ecopetrol, 2023). Este aumento en las emisiones evidencia la dificultad del sector para reducir su impacto ambiental y la necesidad urgente de adoptar medidas de mitigación. Además, los residuos sólidos generados por las actividades de este sector han causado una seria degradación en los ecosistemas, afectando las fuentes hídricas, erosionando los suelos y generando residuos complejos que carecen de un tratamiento adecuado.

Frente a estos desafíos, surge una pregunta fundamental: ¿cuáles son las acciones y estrategias clave para descarbonizar el sector de hidrocarburos y promover una transición energética sostenible? La descarbonización es esencial para la sostenibilidad y para mitigar los efectos adversos del cambio climático. La comunidad internacional, a través del Acuerdo de París (Adoptado por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016), busca limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C, lo cual exige una reducción sustancial en las emisiones de GEI (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). En Colombia, los compromisos incluyen reducir en un 51 % los GEI para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, estipuladas por la Contribución Nacionalmente Determinada NDC, la E2050 (Estrategia Climática de Colombia de Largo Plazo) en concordancia con la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) y la Ley 2169 del 2021 (ECDBC, 2024).

La transición hacia un modelo energético más sostenible implica superar barreras significativas. Para lograrlo, se propone implementar modelos de captura de carbono, fomentar el uso de energías renovables y desarrollar tecnologías que minimicen los efectos ambientales. Estas acciones buscan reducir los costos y avanzar hacia un sistema energético más limpio y eficiente (Qué es la Descarbonización: Principios y Acciones Regulatorias, 2024). Aunque el camino hacia la descarbonización es largo, varias empresas del sector hidrocarburos ya están adoptando estrategias de economía circular para reducir, reutilizar y reciclar recursos. La Asociación Colombiana del Petróleo y Gas (2023) destaca que estas estrategias no solo minimizan el impacto ambiental, sino que también promueven beneficios económicos y sociales.

Esta investigación analiza las medidas necesarias para lograr una descarbonización efectiva en el sector de hidrocarburos, evaluando las oportunidades y retos que enfrenta esta industria. Al abordar estos aspectos, el estudio pretende ofrecer una guía para que los actores clave como gobiernos, empresas y organizaciones, impulsen una transición energética sostenible y reduzcan las emisiones de carbono de manera significativa.

## **ACCIONES PARA LA DESCARBONIZACIÓN**

Las altas emisiones de carbono se han originado a través de diferentes actividades antrópicas, aumentando el calentamiento global, provocando el deshielo de glaciares, extinción de especies y entre otros. La descarbonización tiene un papel progresivo en reducir estas emisiones que se emiten a la atmósfera consiguiendo alcanzar las cero emisiones netas, contribuyendo de manera positiva al cambio climático (Repsol, 2024).

Colombia está orientada hacia un desarrollo económico sostenible y está progresando en la formulación de una estrategia climática con el objetivo de lograr la descarbonización para el año 2050, así como reducir en un 51 % las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 (Molano Rodríguez, 2022). Teniendo en cuenta que uno de los principales emisores de CO<sub>2</sub> a nivel mundial y nacional es el sector hidrocarburos o que está relacionado con los combustibles fósiles con aproximadamente un 80% (Communications, 2024), donde algunas empresas que se dedican a procesos petrolíferos han tomado rutas de descarbonización con el fin de reducir sus emisiones.

## ***IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES DE DESCARBONIZACIÓN ADOPTADAS POR LAS EMPRESAS DEL SECTOR HIDROCARBUROS***

A continuación, se refleja cual es la importancia de la descarbonización en el sector hidrocarburos, las diferentes acciones que han adoptado algunas empresas que pertenecen al sector y las acciones implementadas.

### **Importancia de la descarbonización en el sector hidrocarburos**

La descarbonización se ha convertido en un objetivo clave a nivel global, impulsada por iniciativas sociales y legislativas que buscan mitigar el impacto del cambio climático. En este contexto, el sector hidrocarburos enfrenta una transformación inevitable. Como lo señala Gómez Cuenca, F., la transición hacia una economía baja en carbono no solo está cambiando la estructura del mercado energético, sino también la utilización de materias primas hidrocarbonadas. Este sector, históricamente es uno de los más contaminantes, el cual deberá adaptarse progresivamente, reduciendo su presencia y relevancia tanto en la producción de energía como en otros usos no energéticos. La descarbonización es, por tanto, crucial para redefinir el rol de los hidrocarburos en un nuevo modelo de desarrollo sostenible.

El sector de los hidrocarburos enfrenta diferentes retos en el proceso de descarbonización, dependiendo del enfoque desde el que se aborde el reto. Uno de ellos es el desarrollo de energías alternativas, independientemente que sea una opción beneficiosa, el sector hidrocarburos seguirá siendo la principal fuente de energía, por otro lado, las mejoras de los productos y servicios que se ofrecen a la sociedad deben ser eficaces y bajas sus emisiones donde deben implementar medidas de innovación tecnológica y de negocio, además, un reto fundamental es el desarrollo de biocombustibles o eco-combustibles que sustituyan al combustible tradicional que debe estar ligado

a la innovación de productos y maquinarias que satisfagan las necesidades de consumo de energía en los escenarios de hábitos de consumo y expectativas diferentes de los actuales (Gómez Cuenca, F. s.f).

De esta manera, la descarbonización es uno de los principales retos de mayor interés siendo de carácter importante en mitigar el cambio climático, preservar los recursos naturales, mantener una sostenibilidad social, económica y ambiental. Es importante reducir la cantidad de emisiones generadas por el sector de hidrocarburos, tanto en Colombia como a nivel global. Aunque los combustibles fósiles seguirán siendo utilizados, es esencial que el sector priorice la reducción de la intensidad de sus emisiones, independientemente de la estrategia que se adopte en el marco de la transición energética, donde el objetivo es alcanzar la neutralidad de carbono en el mediano o largo plazo, a través de la implementación de medidas de descarbonización y mejoras en la eficiencia energética (Bueno Cadena, A., Ramírez Vega, L., & López Hernández O. J. s.f).

### Acciones implementadas por las empresas

Se determinaron cuáles son las empresas pertenecientes a actividades del sector hidrocarburos de mayor interés en el marco nacional colombiano, en las cuales se eligieron las siguientes; Ecopetrol, Cepsa y Canacol.

Cuadro 1. Selección de empresas con rutas de descarbonización.

Empresas	Importancia Valoración: De 1 a 5	Ruta de descarbonización Valoración: SI o NO
Ecopetrol S.A.	5	SI
Canacol Energy Ltda.	5	SI
Chevron Petroleum Company	3	NO
Cepsa Colombia S.A. (moeve)	4	SI
Equion Energía Ltd	3	NO
Frontera Energy (Antes Pacific E&P Corporation)	3	NO
Exxonmobil Exploration Colombia Limited	3	NO

Fuente: elaboración propia.

Estas empresas fueron elegidas debido a su importancia a nivel nacional, además, se indagó sobre cuáles empresas contaban con rutas de descarbonización en pro hacia la sostenibilidad, las cuales fueron muy pocas y a partir de allí se empezaron a seleccionar las de mayor importancia. A través del método matricial se determinaron cuáles empresas se van a trabajar (ver cuadro 1).

### Ecopetrol S.A y sus acciones de descarbonización

Ecopetrol S.A., la empresa más grande de Colombia y una de las principales petroleras de Latinoamérica, opera en todos los eslabones de la cadena de hidrocarburos. Reconociendo su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero, se ha comprometido a la transición energética y la carbono-neutralidad. En la COP28, reafirmó su meta de alcanzar cero emisiones netas de carbono para 2050 (alcances 1 y 2) y reducir en un 25% las emisiones de CO<sub>2</sub>e para 2030 respecto a 2019. Asimismo, busca reducir en un 50% sus emisiones totales para 2050 (alcances 1, 2 y 3) (Ecopetrol, 2023) (ver cuadro 2).

Entre 2020 y 2023, logró reducir 1.491.644 toneladas de CO<sub>2</sub>e mediante 226 iniciativas. Su capacidad en energías renovables alcanzó 472 MW en 2023, con proyectos como los parques solares Castilla y San Fernando. Ecopetrol también invierte en hidrógeno de bajo carbono, con un presupuesto anual de USD \$140 millones hasta 2040, además de explorar geotermia, biomasa y combustibles sostenibles para aviación (Ecopetrol, 2023). Destacan proyectos como una planta de resinas plásticas recicladas en Tocancipá, con 12 mil toneladas anuales (Ecopetrol, 2023).

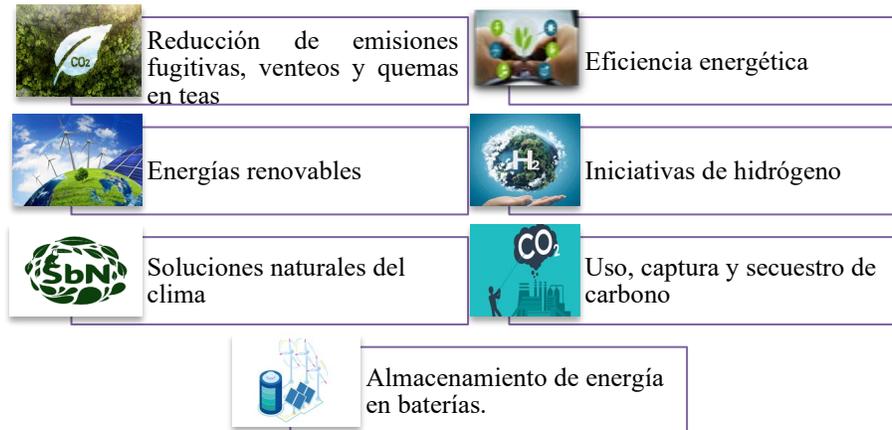
La Vicepresidencia de Soluciones de Bajas Emisiones lidera estas iniciativas, integrando gas, biogás, energías renovables e hidrógeno. Alianzas estratégicas, como con EDF Colombia, impulsan la transición energética. La estrategia “Energía que transforma” prioriza innovación, sostenibilidad y adaptación a los desafíos globales, buscando mantener el liderazgo y limitar el calentamiento global a 1.5 °C (Ecopetrol, 2022).

Cuadro 2. Hoja de ruta de cero emisiones netas propuesta.

PLAN DE DESCARBONIZACIÓN		
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Actualización de emisiones directas, filiales y activos no operados, incluida las de alcance 3.</li> <li>2. Implementar iniciativas de eficiencia energética y reducción de emisiones fugitivas y biomasa.</li> <li>3. Desarrollar portafolio de Soluciones Naturales del Clima.</li> <li>5. Ejecutar piloto de hidrógeno verde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Ejecutar tecnologías adicionales en eficiencia energética para la sustitución de combustibles y reducción de emisiones fugitivas, venteos y quemas en teas.</li> <li>2. Fortalecer el portafolio de Soluciones Naturales del Clima.</li> <li>3. Escalar gradualmente pilotos de hidrógeno verde y de captura, uso y secuestro de carbono, si las tecnologías son competitivas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Capitalizar el avance tecnológico de iniciativas competitivas</li> <li>2. Continuar desarrollando portafolio de Soluciones Naturales del Clima.</li> </ul>

Fuente: Adaptado del Grupo Ecopetrol “anuncia compromiso y plan para lograr cero emisiones netas de carbono en 2050”, Ecopetrol, 2024.

Figura 1. Frentes de acción.



Fuente: Adaptado de Grupo Ecopetrol anuncia compromiso y plan para lograr cero emisiones netas de carbono en 2050, Ecopetrol, 2024.

## Cepsa Colombia S.A (moeve) y sus acciones de descarbonización

Cepsa, compañía española fundada en 1929, dedicada al sector energético, con sede en Madrid. Desde 1940, amplió sus actividades a la exploración, producción de petróleo, lubricantes y petroquímicos, logrando presencia en cinco continentes en 2008 (Cepsa, 2024).

Comprometida con la transición energética y los objetivos del Acuerdo de París, Cepsa presentó su estrategia *Positive Motion* 2030 (ver figura 2). Esta busca reducir en un 55% las emisiones de alcance 1 y 2 para 2030, disminuir entre un 15% y un 20% la intensidad de carbono de sus productos y alcanzar cero emisiones netas en 2050 (Cepsa, 2024).

La empresa invertirá entre 7.000 y 8.000 millones de euros en esta década, destinando 150 millones a proyectos de I+D. Destacan iniciativas en moléculas verdes, movilidad sostenible, y su estrategia "Green Digital", que integra tecnologías avanzadas para operaciones sostenibles. Además, impulsa la innovación mediante colaboración con startups (Open Innovation) (Cepsa, 2024).

Figura. 2. Plan de Sostenibilidad impulsa la estrategia Positive Motion en todas las funciones y unidades de negocio.

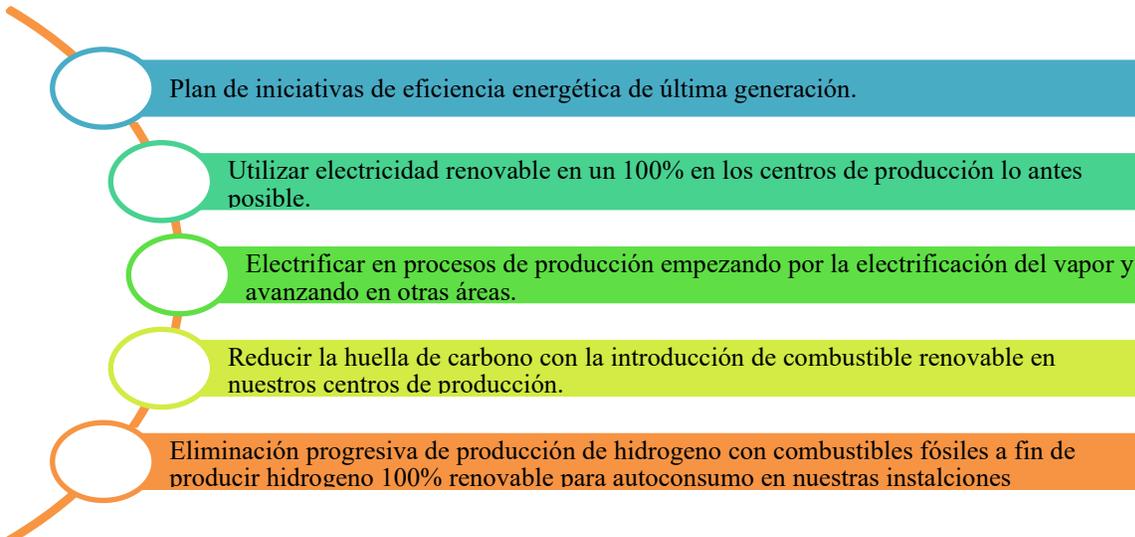


Fuente: Adaptado de Cepsa plan de sostenibilidad, Cepsa, 2024.

Positive Motion pretende alcanzar cero emisiones netas en el que se compromete a combatir el cambio climático siendo el mayor reto al que se enfrenta la humanidad actualmente, reduciendo gases de efecto invernadero en sus operaciones y en las cadenas de valor así mismo han desarrollado un plan

de descarbonización (ver figura 3) ofreciendo a sus clientes productos, soluciones energéticas innovadoras y sostenibles con el propósito de reducir emisiones de alcance 1 y 2 (Cepsa, 2024).

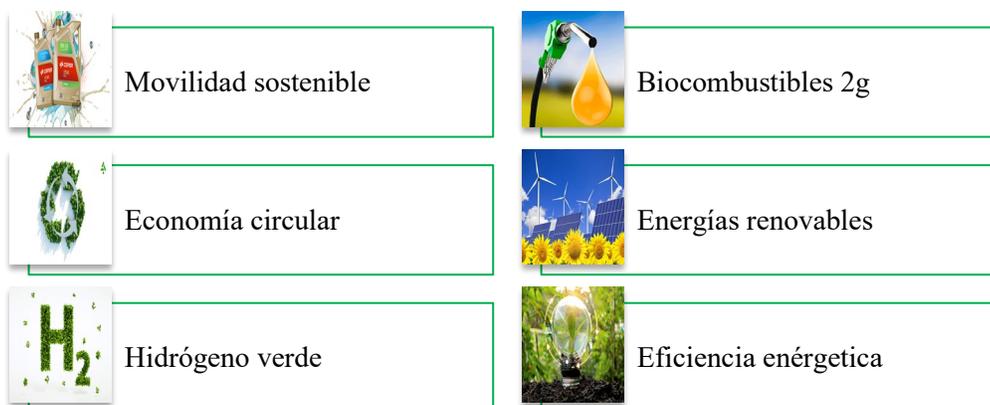
Figura 3. Plan de Descarbonización.



Fuente: Adaptado de Cepsa plan de sostenibilidad, Página 13, Cepsa, 2024.

Parte del plan de descarbonización es reducir la inversión en un 60% en la próxima década y disminuir el índice de intensidad de carbono de los productos. El objetivo es ayudar a los clientes a cumplir con sus compromisos de descarbonización, produciendo combustibles sostenibles como aceite vegetal hidrotratado para la aviación e hidrógeno renovable para uso industrial. También se busca reducir la huella de carbono a través de la reforestación y proyectos de naturaleza, y construir estaciones de hidrógeno en los corredores de transporte por carretera para garantizar un punto de repostaje cada 300 km en 2030. Además, se producirá biometano para el transporte pesado y otros combustibles sostenibles, y se reducirá la huella de carbono de los productos en al menos 2 millones de CO<sub>2</sub> al año (Cepsa, 2024) (ver figura 4).

Figura 4. Frentes de acción.



Fuente: Adaptado de Cepsa plan de sostenibilidad, Cepsa, 2024.

### Canacol Energy Ltd y sus acciones de descarbonización

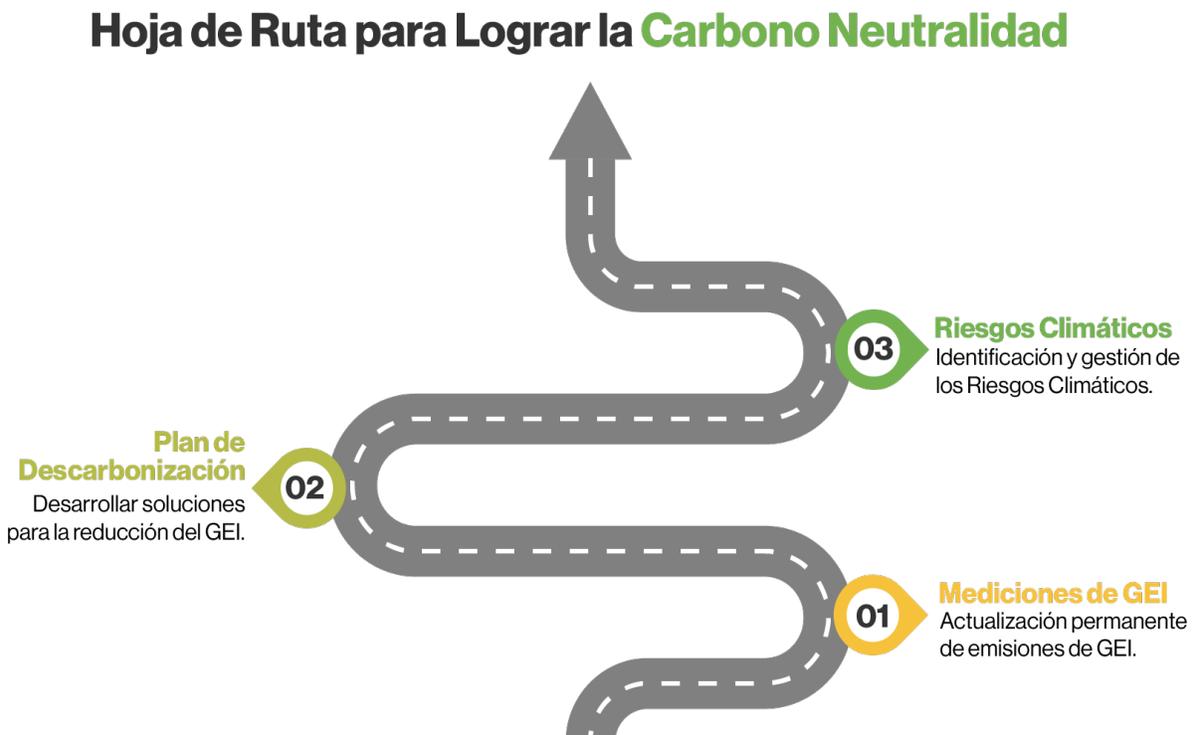
Canacol Energy es la mayor compañía independiente de exploración y producción de gas natural convencional en Colombia, abasteciendo el 17% del consumo nacional. Su estrategia se centra en maximizar el rendimiento para los inversionistas, mientras lidera iniciativas ambientales y se compromete con la sostenibilidad (Canacol Energy Ltd., s. f.).

La empresa apoya el Acuerdo de París y ha fijado metas ambiciosas: alcanzar la carbono-neutralidad para 2050, reducir en un 50% sus emisiones de GEI (alcances 1 y 2) para 2035, con base en los niveles de 2022, y lograr cero emisiones de metano para 2026 (Canacol Energy Ltd., s. f.).

Canacol ha adoptado energías renovables, como hidro-solar, alcanzando 373 MWh en 2022, y eliminando el uso de diésel en sus operaciones. Su plan de descarbonización incluye electrificación con energías renovables, control riguroso de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, y mejora en la eficiencia energética. En 2022, destinó \$132,000 dólares al desarrollo de estas tecnologías. Además, emplea energía solar en pozos y monitorea continuamente para detectar y reparar fugas (Canacol Energy, 2022).

Este enfoque refuerza su compromiso con la sostenibilidad y establece una hoja de ruta para mitigar los riesgos climáticos, reducir emisiones y cumplir con sus objetivos de descarbonización (ver figura 5).

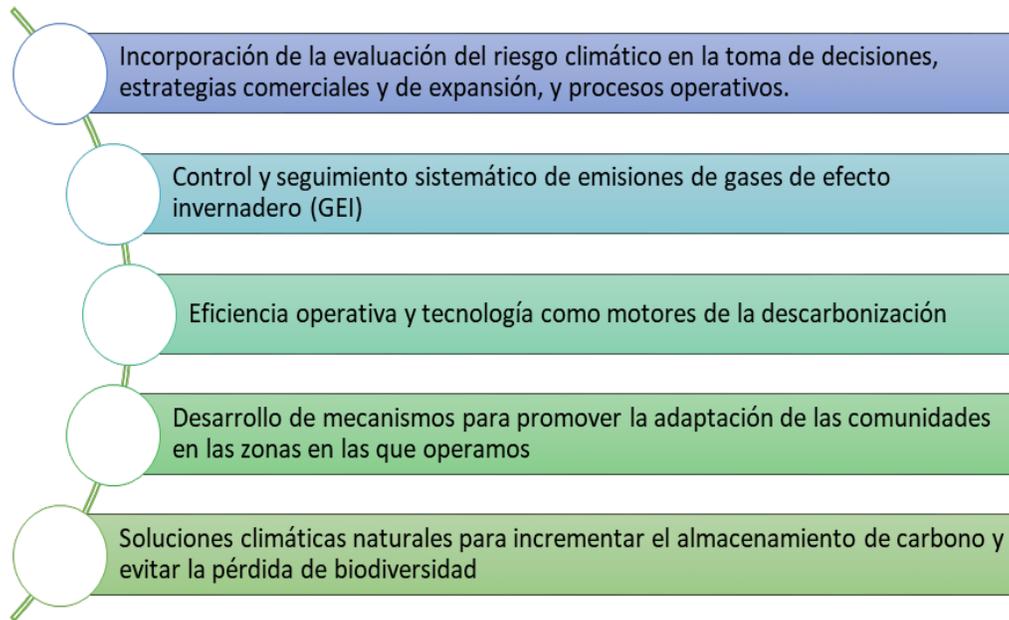
Figura 5. Hoja de ruta de Carbono Neutralidad de Canacol.



Fuente: Tomado de Canacol Energy Ltd., s.f.-

Iniciativas claves para la descarbonización por la empresa Canacol (ver figura 6).

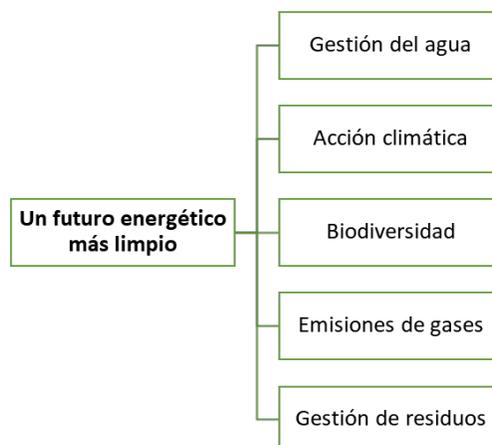
Figura 6. Plan de descarbonización de Canacol.



Fuente: Adaptado de Canacol Energy Ltd, 2022.

Con respecto a los frentes de acción de la empresa, manejan cuatro áreas principales con las que buscan generar un impacto positivo. En orden de prioridad, estas áreas son: Transición energética, Gestión del talento y la cultura, Ética, cumplimiento y transparencia, Relaciones con las comunidades y autoridades locales (Canacol Energy Ltd, 2022). Cabe mencionar, que la empresa para reducir sus emisiones de carbono tiene diferentes proyecciones como prioridad todo el tema de un futuro energético más limpio (ver figura 7).

Figura. 7. Frentes de acción de Canacol.



Fuente: adaptado de Canacol Energy Ltd, 2022.

## CATEGORIZACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES Y TECNOLOGÍAS INNOVADORAS

El calentamiento global, impulsado por emisiones de GEI provenientes de actividades humanas, requiere reducciones globales del 50-85% para 2050 para limitar el aumento de temperatura a menos de 2°C, según el IPCC. Esto prevendría impactos catastróficos como la pérdida de biodiversidad o la acidificación de los océanos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020). En Colombia, el Ministerio de Minas y Energía promueve una transición energética justa y gradual, asegurando soberanía energética y acciones contra el cambio climático (Minenergía, 2023). Empresas implementan planes de descarbonización con tecnologías innovadoras, clave para la sostenibilidad y eficiencia en energías renovables (Las energías renovables para la transición energética, 2022).

### Categorías de estrategias de reducción de emisiones

#### Ecopetrol S.A.

Ecopetrol tiene diferentes frentes de acción encaminados a mitigar sus impactos al medio ambiente, en especial en reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> buscando generar medidas limpias para así de esta manera contribuir a la descarbonización. En el cuadro 3 se puede observar los diferentes tipos de acción, los cuales se clasifican en categorías que están dirigidas a un solo propósito, lograr la reducción de sus emisiones.

A continuación, se describen cada una de estas categorías, sus avances obtenidos y/o proyecciones.

Cuadro 3. Categorías y/o palancas de reducción de emisiones.

Eficiencia energética	Emisiones fugitivas y venteos	Reducción de quemas en Teas	Energías renovables	Hidrógeno	Captura, uso y secuestro de carbono (CCUS)
<b>Definiciones</b>					
Consiste en optimizar el uso de la energía para mejorar la productividad de los recursos sin sacrificar la calidad de vida. (ENEL, 2022)	La liberación intencional o no intencional de los gases de efecto invernadero puede ocurrir durante la extracción, el procesamiento y la entrega de los combustibles fósiles al punto de utilización final (Carras & Picard, 2006).	La Tea como sistema de combustión utilizada en las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, para quemar el gas natural que, debido a la calidad o a la cantidad en que son producidos no pueden ser aprovechados económicamente. (Simancas Caraballo & Rodríguez Arturo, s. f.)	Son un tipo de energía que proviene de fuentes naturales y se regeneran a un ritmo más rápido que su consumo. (United Nations, s. f.)	Es un vector energético que facilita la descarbonización de industrias difíciles de descarbonizar y requiere ser "separado" de otros componentes (Fenoge, s. f.).	Es un conjunto de procesos tecnológicos diseñados para reducir el CO <sub>2</sub> en la atmósfera, capturándolo y almacenándolo de manera segura para su posible uso futuro (REPSOL, 2024).

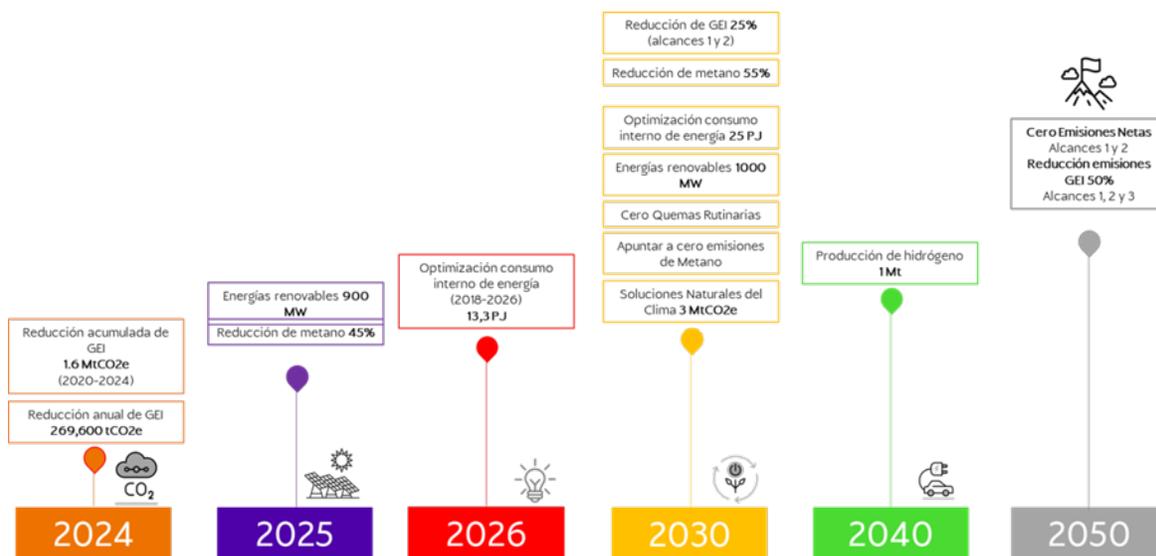
Propósito de las categorías de Ecopetrol					
Ahorro de energía eléctrica o térmica que deriva en la reducción de emisiones en función a su origen.	Reducir las emisiones de gas metano que se liberan ya sea de manera intencional (venteos) o no intencional (fugas) durante las operaciones	Reducir las emisiones de quemas en Tea, ya sea por la reducción del gas que se dirige a este tipo de fuente o por la remoción de hidrocarburos ligeros previos al proceso de quema	Reducir las emisiones asociadas con la energía en función de su origen. Teniendo en cuenta el requerimiento energético de los activos y la confiabilidad	Producción de hidrógeno gris que demandan las refineras. El H2 puede ser reemplazado por hidrógeno verde o hidrógeno azul o una mezcla de ambos teniendo en cuentas las necesidades de crecimiento	Desarrollo tecnológico, principalmente en proyectos asociados con las corrientes de gas resultante de la producción de H2

Fuente: elaboración propia y adaptado del PIGCCe Ecopetrol S.A., 2024.

El Grupo Ecopetrol se ha comprometido a lograr cero emisiones netas de carbono para el año 2050 y a disminuir sus emisiones en un 25% para el año 2030 en comparación con los niveles del 2019. Además, propone reducir en un 50% sus emisiones de alcance 1, 2 y 3 para el año 2050. Para alcanzar esta meta, se han establecido objetivos intermedios, los cuales se detallan en la figura 8 (Ecopetrol, 2024).

En el cual se estiman diferentes metas para alcanzarlas en el año propuesto, buscando disminuir sus emisiones. Cabe mencionar que estas proyecciones soportan las categorías que establece el grupo empresarial (ver cuadro 3). Donde Ecopetrol menciona en sus estudios que para lograr la meta de reducción de emisiones del 25% al 2030, las emisiones no deben superar 13,4 MtCO<sub>2e</sub> a 2030.

Figura 8. Metas asociadas al cambio climático.

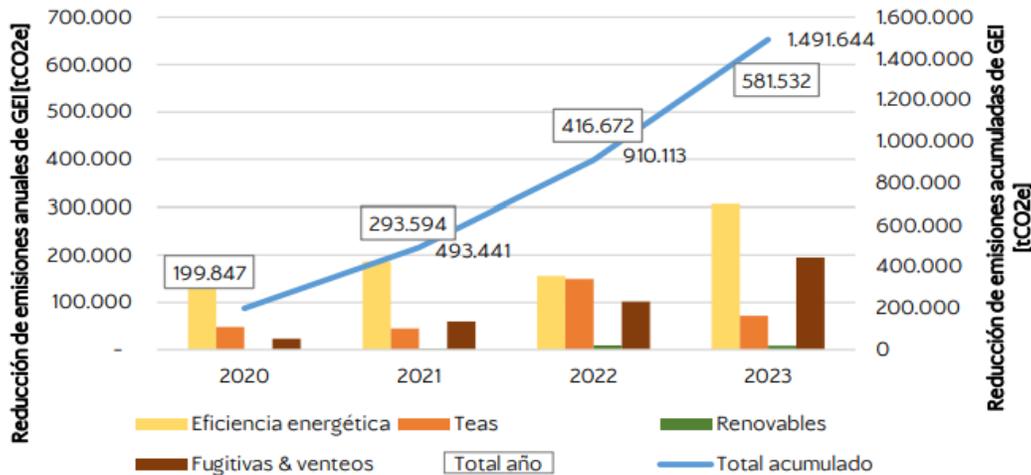


Fuente: Tomado del PIGCCe Ecopetrol S.A., 2024.

Anualmente el grupo empresarial define una meta de reducción de emisiones a partir de la identificación e implementación de nuevas iniciativas de mitigación operativa en las categorías y/o

palancas ya antes mencionadas. Como resultado de la reducción de emisiones en el período 2020-2023 han logrado una reducción cercana a los 1.5 MtCO<sub>2</sub>e. En la figura 9 se observa el avance en la reducción de emisiones de GEI en función a la tCO<sub>2</sub>e del Grupo Ecopetrol.

Figura 9. Reducción de emisiones de GEI (tCO<sub>2</sub>e) 2020 – 2023.



Fuente: Tomado del PIGCCe Ecopetrol S.A., 2024.

### Cepsa Colombia S.A. (moeve)

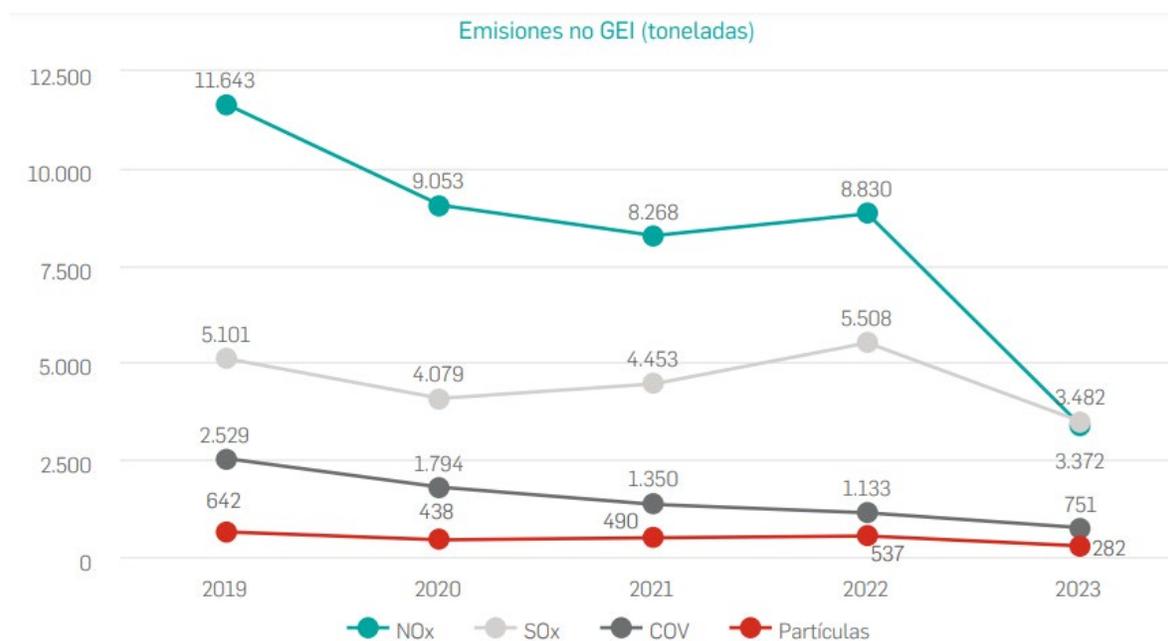
Cepsa impulsa la transición energética mediante su estrategia Positive Motion 2030, presentada en 2022, que busca un impacto positivo en personas y medio ambiente (Cepsa, 2022). Con una inversión de 7.000-8.000 millones de euros esta década, la empresa se posiciona como líder en movilidad sostenible, hidrógeno verde y biocombustibles. La estrategia apoya la descarbonización de sus clientes, genera valor para la sociedad y fortalece sus operaciones en E&P y Química (Cepsa, 2022). Además, Cepsa implementa iniciativas para mitigar emisiones de carbono en España, Portugal y Colombia, contribuyendo a la descarbonización mediante acciones efectivas y sostenibles.

- **Descarbonización con hidrógeno verdes y movilidad sostenible.** Tras el Acuerdo de París sobre el cambio climático, tanto gobiernos como empresas han comenzado a implementar acciones para descarbonizar sus sistemas energéticos. Cepsa cree que el hidrógeno verde y los biocombustibles, son fundamentales para reducir las emisiones en sectores como la industria pesada y el transporte. Además, la compañía se enfoca en promover la movilidad sostenible para sus clientes y en avanzar en la descarbonización (Cepsa, 2022).
- **Sinergias para una transición justa.** La transición energética ofrece oportunidades, pero también plantea desafíos. A largo plazo, es evidente que sectores como la movilidad experimentarán transformaciones profundas. Por ello, Cepsa está invirtiendo en la reeducación y mejora de habilidades de su personal, lo que les ayudará a alcanzar la meta de cero emisiones netas. Con el apoyo de la tecnología digital, que fomenta una innovación rápida y eficiente, Cepsa colaborará con gobiernos, empresas, sindicatos y otros grupos de interés para trabajar en conjunto y asegurar que todos puedan aportar de manera significativa (Cepsa, 2022).

- Control continuo de las emisiones a la atmósfera.** Además, se lleva a cabo un monitoreo continuo de las emisiones a la atmósfera, demostrando el compromiso de la empresa con la prevención de la contaminación y la minimización del impacto ambiental a través de su "Política de HSEQ" y su "Estrategia y Posicionamiento en Emisiones al Aire". La empresa emplea las mejores técnicas disponibles para reducir emisiones, las cuales son vigiladas constantemente. Asimismo, dispone de mecanismos de autocontrol y colabora con una Entidad Colaboradora en Calidad Ambiental (ECCA) para implementar nuevas medidas (Cepsa, 2023).

A continuación, se puede observar la tendencia de las emisiones no GEI por la empresa Cepsa en el marco del territorio nacional Colombia, en los cuales se tiene resultados desde el año 2019 a 2023 (ver figura 10).

Figura 10. Resultados de las emisiones no GEI (toneladas) por Cepsa.



Fuente: Informe de gestión integrado Cepsa, 2023.

Se observa una tendencia general a la baja a lo largo de estos últimos años en las emisiones. Se debe gracias al abandono de consumo de fuel gas en las calderas del activo en Caracaca (Colombia) del negocio de Exploración y Producción, en el cual se ha logrado una reducción en la emisión de todos los contaminantes, en especial para el caso de NOx. Asimismo, la disminución de la actividad en el activo de RKF (Argelia) ha resultado en una notable reducción, con mayor impacto sobre los COV. Por último, los proyectos de eficiencia energética implementados en La Rábida, como la optimización y la menor carga en las combustiones, han contribuido a una reducción de las emisiones de SOx (Cepsa, 2023).

De esta manera, la colaboración con los grupos de interés y la empresa Cepsa muestran una participación en la elaboración de planes de mejora de la calidad del aire a través de diferentes asociaciones sectoriales, y colaboración con las administraciones públicas (Cepsa, 2023). En el que

se resalta algunas acciones de descarbonización que han reducido las emisiones de la empresa Cepsa, teniendo en cuenta que se tiene otros frentes de acciones como; movilidad sostenible, economía circular, hidrógeno verde, Biocombustibles 2g, energías renovables y eficiencia energética.

Esta empresa determinó unos compromisos en el cual están anclados a su plan de descarbonización en el que buscan mitigar los impactos generados por sus actividades operativas. A continuación, se mencionan cada uno de estos compromisos.

Cuadro 4. Compromisos de la empresa Cepsa de acuerdo a sus frentes de acción.

Control de emisiones	Eficiencia energética	Movilidad sostenible	Hidrógeno Verde	Economía circular	Biocombustibles 2g
<b>Compromisos de la empresa Cepsa</b>					
Lograr el net zero en las emisiones de alcance 1 y alcance 2 a más tardar en 2050.	Reducir el índice de intensidad de carbono de los productos energéticos vendidos los clientes entre un 15 y un 20 % para 2030 respecto al mismo índice en el año de referencia (2019).	Fomentar la descarbonización del sector del transporte y la movilidad sostenible	Cepsa y el Puerto de Róterdam están creando el primer corredor de hidrógeno verde entre el sur y el norte de Europa, asegurando una cadena de suministro de hidrógeno verde entre dos de los principales puertos de Europa, Róterdam y Algeciras	Aumentar el porcentaje de materias primas renovables y circulares en los parques energéticos hasta el 15 % en 2030.	El 100 % de la producción de gasóleo renovable y combustible sostenible para aviación (SAF) serán de base 2G de aquí a 2030.
Reducir las emisiones de alcance 1 y alcance 2 en un 55 % para 2030 respecto a las emisiones del año de referencia (2019).	Alcanzar el net zero en el índice de intensidad de carbono en 2050.	Crear un centro de combustible sostenible para aviación (SAF) en el aeropuerto de Sevilla		Sustituir las fuentes fósiles en los productos químicos que venden introduciendo materiales renovables y reciclados.	

Fuente: Adaptado del plan de sostenibilidad, Cepsa, 2024.

### Canacol Energy Ltd

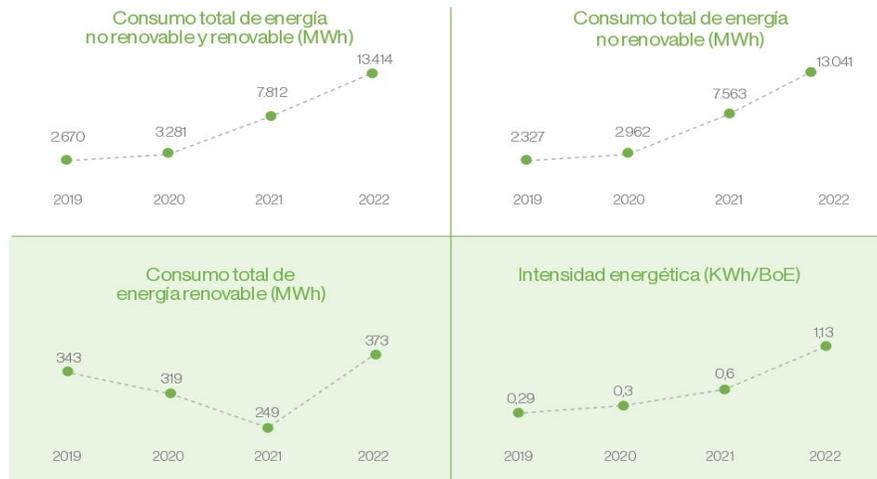
La acción a favor del clima fue una prioridad para Canacol. En 2022, mantuvo el enfoque en estrategias de bajas emisiones de carbono de las cuáles fueran sólidas y resilientes, donde se consideraba los riesgos y las oportunidades relacionadas con el clima para ofrecer respuestas eficaces y apoyar una adaptación progresiva a la transición energética. Con el objetivo de alinear acción y ambición, fijaron metas de desempeño para los equipos ejecutivos y de gestión, basadas en los objetivos de las unidades de negocio internas y en una cultura de cumplimiento e innovación (Canacol Energy Ltd, 2022).

Esta empresa tiene una visión muy clara sobre su hoja hacia la descarbonización, entendiendo lo importante que juega la electrificación de las operaciones, donde ellos han utilizado energía renovable en su propia producción de gas para las necesidades de climatización e iluminación en las áreas operacionales. Esta práctica se encuentra ya en su cuarto año ininterrumpido de aplicación. Además, el control de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> es otro de los factores que suplen a la descarbonización (Canacol Energy Ltd, 2022).

- Energía Renovable.** Esta empresa ha incrementado el uso de energía hidro-solar hasta 373 MWh en 2022 donde mantuvieron su récord histórico de consumo cero de diésel en sus operaciones. Por otro lado, utilizan paneles solares para alimentar sus instalaciones operativas remotas e infraestructuras de bajo consumo, como iluminación, instrumentación y control, aplicaciones de seguridad y aire acondicionado. Sin embargo, la sede central de Bogotá se abastece de energía hidroeléctrica, para así de esta manera demostrar los niveles de consumo de energía renovable y no renovable que se encuentran en una fase temprana en la adopción de energías renovables. Canacol tiene como objetivo aumentar el uso de energías renovables como componente clave en el plan de descarbonización (Canacol Energy Ltd, 2022).

A continuación, se muestra el resultado de emisiones de una de las estrategias que está siendo efectuada por la empresa, la cual consiste en el tema de energías renovables adoptando y aplicando fuentes amigables con el medio ambiente para reducir sus emisiones.

Figura 11. Progreso del uso de energía renovable y no renovable en Canacol.



Fuente: Reporte integrado ASG Canacol Energy Ltd, 2022.

Figura 12. Informe total de energía consumida.

Energía total consumida	Unidades	2019	2020	2021	2022
Gas natural	MWh	2.670	3.281	7.812	13.041
Diésel	MWh	0	0	0	0
Hidráulica + Solar	MWh	343	319	249	373
Consumo total de energía no renovable	MWh	2.327	2.962	7.563	13.041
Barrios equivalente	BoE	0	0	0	0

Fuente: Reporte integrado ASG Canacol Energy Ltd, 2022.

- Control de emisiones.** El gas natural de Canacol es metano casi puro (>99%), lo que constituye una opción de combustible limpio en la matriz energética. Su combustión produce una huella de emisiones menor que la de muchas otras opciones, debido a que las cantidades

presentes de condensado, petróleo liviano, dióxido de carbono, azufre u otras impurezas no es significativa (Canacol Energy Ltd, 2022).

Como principal compañía independiente de exploración y producción de gas natural de Colombia, satisfacen cerca del 20% de las necesidades de gas del país, liberando 66.631 ton CO<sub>2</sub>e/año, lo que supuso sólo el 0,028% del total de las emisiones nacionales del país durante 2022, estimadas en 299,31 millones de toneladas (ver figura 13). Canacol cuenta con una línea base de Gases de Efecto Invernadero (GEI) cumple con la norma ISO 14064 y fue preparada por un experto externo de acuerdo con el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI del Instituto de Recursos Mundiales (Canacol Energy Ltd, 2022).

Figura. 13. Informe de emisiones directas e indirectas de los alcances 1 y 2, 2022.

#### Emisiones directas e indirectas de alcance 1 y 2, 2022

Alcance	Actividad	tonCO <sub>2e</sub> /año	Contribución
Emisiones directas	Combustión estacionaria	48.092	72,18%
	Fuentes móviles de combustible	159	0,24%
	Extintores	0,05	0,00%
	Refrigerantes	204	0,31%
	Emisiones fugitivas	18.154	27,25%
<b>Subtotal de emisiones directas</b>		<b>66.609</b>	<b>99,97%</b>
Emisiones indirectas	Energía eléctrica Oficinas de Bogotá	22	0,03%
<b>Emisiones subtotales indirectas</b>		<b>22</b>	<b>0,03%</b>
<b>Emisiones totales directas e indirectas (alcance 1 y alcance 2)</b>		<b>66.631</b>	<b>100%</b>

Fuente: Reporte integrado ASG Canacol Energy Ltd, 2022.

Figura 14. Intensidad de las emisiones de GEI alcances 1+2 (kgCO<sub>2e</sub>/BoE) de Canacol.



Fuente: Reporte integrado ASG Canacol Energy Ltd, 2022.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el registro de los tres años (2020, 2021 y 2022), se tiene que para el año 2022 las emisiones directas de GEI aumentaron debido al incremento de la producción de gas natural (Canacol Energy Ltd, 2022) (ver figura 14).

Por otro lado, la empresa priorizo unas acciones clave para reducir sus emisiones las cuales corresponde a las siguientes:

- Incorporar tecnología para mejorar la eficiencia energética en operaciones, así como para la reducción de venteo y quema de gas.
- Implementación de energía solar en los pozos y las instalaciones satélite.
- Avanzar en los estudios de viabilidad de un sistema de energía solar de 1,8 MW para abastecer nuestra planta principal.
- Supervisar e inspeccionar constantemente los sistemas operativos e instalaciones para detectar y reparar fugas mediante intervenciones internas y de terceros.

En el control de emisiones que tiene la empresa Canacol, también se encuentran realizando un control de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) gas contaminante de alta importancia que contribuye al aumento de GEI. Canacol tiene otra iniciativa para reducir las emisiones de metano mediante la transición a energía solar de las instalaciones operativas, la cual ha dado resultados positivos (ver figura 13) (Canacol Energy Ltd, 2022).

Además, de controlar las emisiones de GEI, también hacen un seguimiento de otras emisiones atmosféricas significativas, en particular los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>, excluido el N<sub>2</sub>O), el óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y la contaminación producida por partículas (PM<sub>10</sub>). Canacol también hace seguimiento de las emisiones brutas de GEI del alcance 1, en particular, de las de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). La producción de todos esos gases se incrementó durante 2022 por la alta demanda (Canacol Energy Ltd, 2022) (ver figura 15).

Figura. 15. Resultados de emisiones globales buretas de GEI del alcance 1.

Emisiones globales brutas de GEI de alcance 1 a la atmósfera (tonCO <sub>2e</sub> ) <sup>28, 29</sup>			
	2020	2021	2022
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	21.013	29.593	48.129
Metano (CH <sub>4</sub> )	3.034	20.182	18.253
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	10	15	24

Fuente: Reporte integrado ASG Canacol Energy Ltd, 2022

Canacol es una empresa que busca cubrir todas sus labores que de manera indirecta o directa afecta a la integridad del medio ambiente. De esta forma, esta empresa implementa diversas actividades para mantener la protección de la biodiversidad, en donde ellos realizan acciones de reforestación e incluyen políticas para limitar zonas protegidas y que se encuentren enmarcadas a la protección de ecosistemas, cerca de 44 hectáreas se han reforestado en 6 localidades en 3 municipios en el último informe de la empresa. Por otro lado, realizan el aprovechamiento de residuos sólidos para reducir la sobrepresión de los rellenos sanitarios, y, por último, actividades encaminadas a la gestión del agua. Con la información antes mencionada, se resalta la labor de importancia que tiene la empresa para reducir sus emisiones y contribuir a la descarbonización, teniendo en cuenta que no solo se reduce las afectaciones que provienen de las zonas operativas, sino que también se pueden realizar acciones externas para su contribución.

### Tecnologías Innovadoras Implementadas.

#### Ecopetrol S.A.

Las actividades principales de investigación y desarrollo tecnológico se ejecutan a través del centro de innovación y tecnología Instituto Colombiano de Petróleo y Energías de la Transición (ICPet) que será clave para impulsar la transición energética y la carbono-neutralidad del país cuenta con una infraestructura tecnológica y científica de 29 laboratorios, 34 plantas piloto y más de 15.700 equipos para la investigación y desarrollo de tecnología (ver cuadro 5). Con su experiencia de 39 años se enfocará en fortalecer sus conocimientos y capacidades para liderar la investigación y desarrollo tecnológico en el que se estima una inversión de 816.000 millones de pesos a 2030 con el objetivo de impulsar la estrategia “energía que transforma” acelerando la meta de reducir la huella de carbono para ser una empresa con cero emisiones netas de CO<sub>2</sub> en el 2050 (Ecopetrol, 2024).

Cuadro 5. Estudios de investigación en los siguientes laboratorios experimentales.

UPSTREAM	MIDSTREAM Y DOWNSTREAM	PLANTAS PILOTO
- Optimización de producción y recobro mejorado.	- Evaluación especializada de hidrocarburos, catalizadores y combustibles.	- FCC (Fluid Catalytic Cracking)
- Química de producción.	- Cromatografía de gases y masas.	- Hidrotratamiento.
- Petrofísica especial.	- Catálisis.	- Procesos térmicos.
- Recobro químico.	- Espectroscopía atómica y molecular.	- Operaciones de separación.
- Recobro térmico.	- Motores.	- Pruebas fluidodinámicas.
- Pruebas tecnológicas en campo.	- Ingeniería e integridad de materiales.	
- Caracterización avanzada de sistemas geológicos.	- Caracterización y resistencia de materiales.	
- Preparación de muestras geológicas.	- Materiales no metálicos.	
- Bioestratigrafía.	- Corrosión.	
- Petrografía.	- Fenómenos interfaciales y reología.	
- Petrofísica básica.	- Fenómenos interfaciales.	
- DRX/ EDX / XRF.	- Reología.	
- Microscopía electrónica.	- Pruebas estándar.	
- Litoteca.	- Destilación de crudos.	
- Tecnologías para la optimización de perforación y completamiento.	- Aguas y suelos.	
- Mecánica de rocas.	- Espectrometría y gravimetría.	
- Lodos de perforación.	- Cromatografía ambiental.	
- Daños a la formación.	- Espectroscopía ambiental.	
- Cementación.	- Biotecnología.	
- Tecnologías avanzadas para la caracterización de hidrocarburos y compuestos orgánicos.	- Microbiología y biología molecular.	
- PVT (Presión, Volumen, Temperatura).	- Bioprocesos.	
- Petroléomica.	- Hidrobiología.	
- Geoquímica.	- Ecotoxicidad.	

Fuente: Adaptado de Centro de Innovación y Tecnología, Ecopetrol, 2020.

El Centro de Innovación y Tecnología (ICPet) de Ecopetrol lidera los estudios e investigaciones para impulsar la descarbonización de la empresa. El ICPet ha establecido un portafolio tecnológico que abarca diversas iniciativas, como optimización de procesos, eficiencia energética, valorización de nuevos vectores energéticos, captura de carbono y desarrollo de productos con bajas emisiones de carbono, con el objetivo de apoyar las metas de descarbonización de Ecopetrol (Ecopetrol, 2023) (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Portafolio tecnológico de descarbonización.

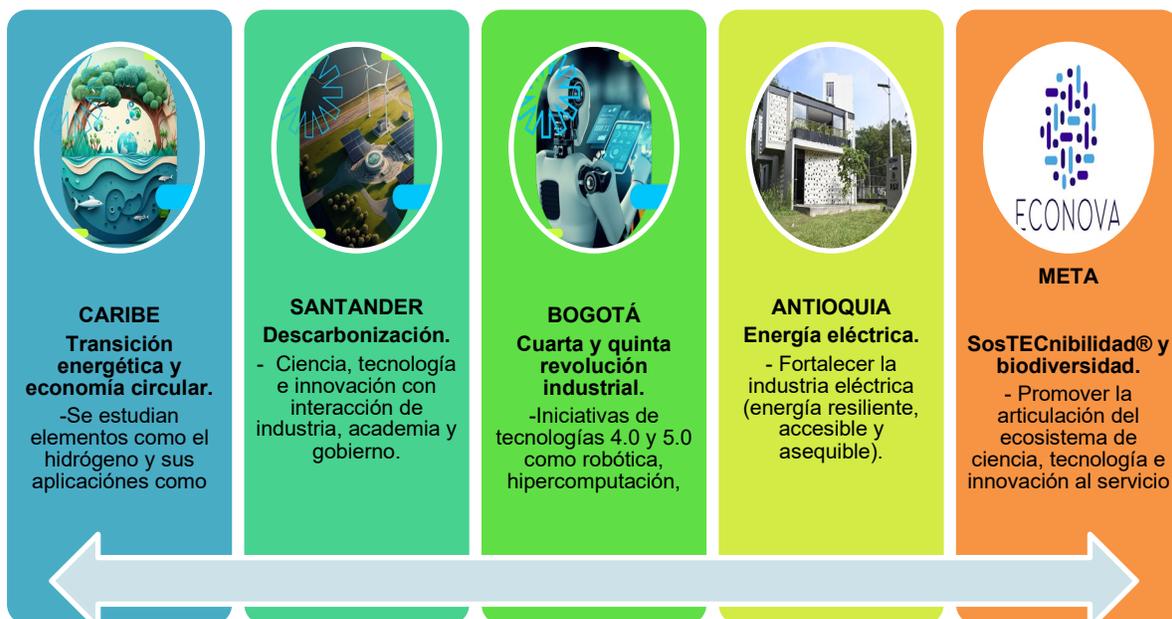
HIDRÓGENO
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Producción con Hidrógeno verde.</li> <li>● Movilidad con hidrógeno verde.</li> <li>● Mezclas de hidrógeno con gas natural.</li> <li>● Modelo de la cadena de suministro de hidrógeno.</li> <li>● Modelo de la cadena de suministro de CCUS.</li> <li>● Procesamiento y análisis de datos geoespaciales.</li> </ul>
GESTIÓN DEL CO <sub>2</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tecnologías emergentes para captura de CO<sub>2</sub>.</li> <li>● Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub>.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Recobro mejorado con CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
<b>PRODUCCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tecnologías para generación de energía en offshore.</li> <li>● Potencial geotérmico de alta entalpía.</li> </ul>
<b>USOS DEL CO<sub>2</sub></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Uso corriente residuales (flue gas + aguas).</li> <li>● Producción de biomasa por microalgas.</li> <li>● Producción de olefinas vía catalítica.</li> </ul>
<b>PRODUCCIÓN DE DIÉSEL Y JET RENOVABLE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ecopetrol ha desarrollado patentes como el Biocetano que permite la producción de diésel y jet renovable a partir de aceite vegetal.</li> </ul>
<b>SUMIDEROS NATURALES DE CARBONO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Actualización de mapas de cobertura y deforestación del país y desarrollo de nuevos métodos para estudio de carbono en ecosistemas (IDEAM).</li> <li>● Lanzamiento por primera vez en Colombia, de un espectrómetro para el monitoreo de gases efecto invernadero a bordo del nanosatélite-Chiribiquete-(6U cubesat). (FAC2).</li> <li>● Despliegue de torres Eddy Covariance el cual medirán el intercambio de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O entre los diferentes compartimentos en los ecosistemas y la atmósfera en tiempo real. (Universidad Javeriana).</li> <li>● Sistema digital integrado para las soluciones basadas en la naturaleza Ecopetrol - Microsoft.</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Innovación, Desarrollo e Investigación, Ecopetrol, 2023.

Ecopetrol fomenta la innovación abierta mediante alianzas estratégicas y programas como Innóvate, C-Emprende, Ruta N, y Hackatons, enfocados en resolver desafíos operacionales y ambientales (ver figura 16). Destaca Econova, una red que impulsa la creatividad para la descarbonización, transición energética y biodiversidad, con una inversión de 89 mil millones en cinco centros de innovación (Ecopetrol, 2021; Econova, 2024).

Figura 16. Centros de Innovación abierta por Colombia.

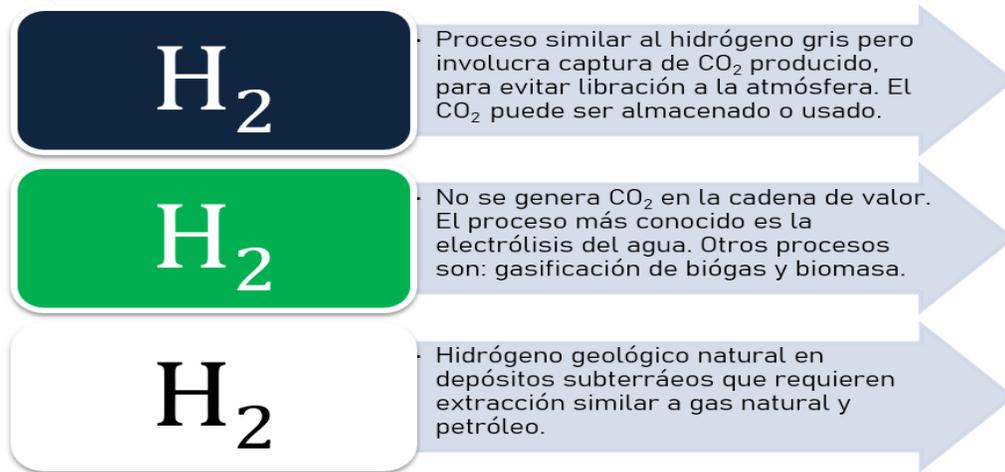


Fuente: Adaptado de Red Econova, Econova, 2024. <https://www.econova.co/page/red-econova/>.

Además Misión de sabios de Colombia 2019 es un grupo de expertos para impulsar el desarrollo sostenible del país a través de la educación, ciencia, tecnología y la innovación proponiendo estrategias para sentar las bases de un futuro sostenible por eso Ecopetrol se ha alineado con los Objetivos de la Misión de sabios para avanzar en iniciativas como: Energías renovables no convencionales, restauración y preservación de ecosistemas para captura de CO<sub>2</sub>, Usos de aguas de producción de iniciativas agroforestales y semilleros de investigación en instituciones educativas rurales (Ecopetrol, 2021).

- ✓ **Proyectos de hidrógeno.** El hidrógeno, un elemento versátil y sin emisiones durante su uso, es clave para la descarbonización en sectores como industria y transporte. Aunque su producción puede generar CO<sub>2</sub> según la fuente utilizada, reemplazará gradualmente combustibles fósiles en sectores sin alternativas bajas en emisiones, ofreciendo soluciones para transporte difícil de electrificar y fomentando cadenas de valor sostenibles (Ministerio de Minas y Energía, 2021). En 2021, Ecopetrol presentó su plan estratégico de hidrógeno bajo en carbono, alineado con la Hoja de Ruta Nacional, enfocado en sostenibilidad y reducción de huella de carbono para impulsar su crecimiento y compromiso ambiental (Ecopetrol, 2022) (ver figura 17).

Figura. 17. Plan estratégico de hidrógeno de bajas emisiones del grupo Ecopetrol.



Fuente: Adaptado de Plan Estratégico de Hidrógeno del Grupo Ecopetrol - Ecopetrol Group Hydrogen Strategic Plan, Ecopetrol, 2022.

El Grupo Ecopetrol ha lanzado un plan para producir hidrógeno de bajo carbono, con una inversión anual promedio de USD\$140 millones hasta 2040. El plan tiene tres horizontes:

- 2022-2030: Expansión del hidrógeno en operaciones propias y aplicaciones en movilidad sostenible.
- 2030-2040: Descarbonización de operaciones, diversificación en movilidad marítima y de aviación, y exploración de mercados en Europa y Asia.
- 2040 en adelante: Masificación del uso del hidrógeno y expansión del portafolio.

Ecopetrol impulsa el desarrollo del hidrógeno bajo en carbono para reducir emisiones al 2050, contribuyendo entre el 9% y 11% de la meta global. Sus iniciativas incluyen producción de hidrógeno

verde/azul, movilidad sostenible con vehículos de hidrógeno, y mezcla con gas en nuevas aplicaciones (Ecopetrol, 2022). En 2022, invirtió \$6 millones en un piloto con tecnología PEM y paneles solares en la Refinería de Cartagena. Además, inició pruebas con un vehículo de hidrógeno verde en alianza con Toyota (Ecopetrol, 2022). En Bogotá, lidera un proyecto de movilidad sostenible, esperando reducir 1.083 toneladas de CO<sub>2</sub> y beneficiar a 98.500 pasajeros al año (Ecopetrol, 2023). Para fortalecer su plan estratégico, estableció alianzas con Total Eren, EDF, Siemens Energy, entre otros, y busca producir un millón de toneladas de hidrógeno anualmente para 2040 (Ecopetrol, 2022). En 2024, presentó el Icpet y el primer carro colombiano con hidrógeno verde (Nataly Perico, 2024).

- ✓ **Energías renovables.** Al cierre de 2021 Ecopetrol y su GEE reportan un total de 54.5 GWh-año de energía solar asociado en un 98% a las operaciones de Granja Solar Castilla, y Granja Solar San Fernando (CENIT) y 2% en operaciones en Pozos Colorados y Esenttia (Ecopetrol, 2021).

#### **Parque Solar Castilla 2019**

- **Capacidad:** 21 MWp.
- **Superficie:** 18 hectáreas (equivalente a 16 campos de fútbol).
- **Suministro:** Energía al Campo Castilla durante 15 años.
- **Emisiones evitadas:** Más de 154.000 toneladas de CO<sub>2</sub> (equivalente a la plantación de 16.200 árboles).
- **Fuerza laboral:** 383 empleos (29% mujeres).

#### **Parque Solar San Fernando 2021**

- **Capacidad:** 61 MW.
- **Superficie:** 57 hectáreas (equivalente a 70 campos de fútbol).
- **Inversión:** \$40 millones (más de 150 mil millones de pesos).
- **Construcción:** octubre 2020.
- **Emisiones evitadas:** Más de 508 mil toneladas de CO<sub>2</sub>.
- **Fuerza laboral:** Más de 700 personas (38% mujeres).
- **Proveedores locales:** 48.

Este proyecto refuerza el compromiso de la compañía con la transición energética y la reducción de emisiones de carbono para mitigar el cambio climático (Ecopetrol, 2021).

#### **Parque Solar Brisas**

- **Capacidad:** 26 MWp
- **Ubicación:** Aipe, Huila
- **Objetivo:** Autoabastecer parte de la demanda de energía de Ecopetrol en el Huila
- **Entrada en operación:** Último trimestre de 2022
- **Superficie:** 20 hectáreas
- **Paneles solares:** 48 mil
- **Tecnología:** Bifacial con mecanismo de seguimiento del sol
- **Emisiones evitadas:** 216 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e (equivalente a la siembra de 1,7 millones de árboles)
- **Contrato:** Compra de energía por 15 años con AES Colombia

**Meta del Grupo Ecopetrol**

- Portafolio de energías renovables: 400 MW en 2023-
- Energía solar: 340 MW (85% del portafolio).

**Otros proyectos de energías renovables de Ecopetrol**

- Evaluación de alternativas eólicas, geotermia, pequeñas centrales hidroeléctricas, biomasa y baterías.
- Desarrollo de un piloto de 50 kW de hidrógeno verde.

En 2023, Ecopetrol alcanzó una capacidad de 472 MW en energía renovable, duplicando los 208 MW de 2022. Este avance redujo su dependencia de combustibles fósiles al 28% de autogeneración con fuentes renovables. Planea alcanzar 900 MW para 2025 y expandir proyectos en sus áreas operativas (Ecopetrol, 2024). Además, inauguró la Granja Solar La Cira Infantas en Santander, con 84.900 paneles solares que abastecerán 40.500 viviendas y reducirán 12.500 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. Este esfuerzo refuerza la diversificación energética, proyectando entre 700 y 800 MW renovables para fines de 2024 (Ecopetrol, 2024).

- ✓ **Geotermia.** La energía geotérmica, fuente renovable y constante con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> (100 g/kWh), es clave para la transición energética. Colombia tiene alto potencial geotérmico, pero requiere integrar análisis de cuencas y valorización del subsuelo (Geotermia Oil & Gas, s/f). Ecopetrol, Baker Hughes y CHEC desarrollan un proyecto en el Valle de Nereidas, Caldas, con capacidad estimada de 50-100 MW, realizando estudios de factibilidad y financiación. Además, Ecopetrol estudia una planta piloto de 200 kW en Apiay, Meta, para autoconsumo. Estas iniciativas buscan diversificar la matriz energética y fomentar energía sostenible en el país (Ecopetrol, 2023).
- ✓ **Soluciones de bajas emisiones.** Para ello, integra energías renovables, hidrógeno, CCUS y soluciones climáticas naturales. En 2022, transformó su Vicepresidencia de Gas en la Vicepresidencia de Soluciones de Bajas Emisiones, liderada por Yeimy Báez Moreno, con el objetivo de que las bajas emisiones representen hasta el 50% del Ebitda en 2040 (Ecopetrol, 2022). Además, la refinería de Cartagena redujo 164.377 toneladas de CO<sub>2</sub>e, fortaleciendo su compromiso con la sostenibilidad (Ecopetrol, 2024).
- ✓ **Biocombustibles.** El biodiésel, derivado de aceites vegetales como palma, soya y canola, tiene raíces históricas desde 1893 con el motor de Rudolf Diesel, pero su desarrollo comercial despegó tras la crisis petrolera de los años 70. Hoy, con una producción global de 23,5 millones de toneladas, ofrece beneficios como seguridad energética y menor impacto ambiental (Ecopetrol, 2013). Ecopetrol lidera innovaciones en biocombustibles, obteniendo una patente para coprocesar aceites vegetales con derivados de petróleo, optimizando refinerías. En 2024, iniciará un piloto en Cartagena para producir biocombustibles avanzados, como HVO y SAF, reduciendo emisiones en transporte y aviación (Soler, 2023).
- ✓ **Iniciativas de captura de carbono.** El Grupo Ecopetrol ha reducido 493.441 toneladas de carbono entre 2020 y 2021, avanzando hacia su meta de cero emisiones netas para 2050. La estrategia incluye eficiencia energética, energías renovables, reducción de quemas en teas y emisiones fugitivas, y proyectos de Soluciones Naturales del Clima (SNC). Se proyecta reducir 1.6 millones de toneladas de carbono entre 2020 y 2024, logrando una disminución del 25% en emisiones de CO<sub>2</sub>e. Además, en 2023, se implementaron 89 iniciativas, reduciendo 581.532 toneladas de CO<sub>2</sub>e, acumulando 1.491.644 toneladas desde 2020. La

eficiencia energética contribuyó con el 55% de estas reducciones. Ecopetrol integra tecnologías emergentes como hidrógeno y CCUS, y aplica un precio interno de CO<sub>2</sub>e para optimizar decisiones y mitigar emisiones futuras (Ecopetrol, 2022; 2024).

- ✓ **Producción de combustibles sintéticos.** El Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) está investigando la viabilidad técnica y económica de tecnologías para la captura y utilización de CO<sub>2</sub> a partir de corrientes diluidas de flue gas y aguas residuales en Ecopetrol. Estas tecnologías incluyen la mineralización acuosa y la bioconversión por microalgas, que permiten la producción de carbonatos, bicarbonatos y biomasa valorizada. Además, se están evaluando rutas tecnológicas para la producción de combustibles sintéticos como e-gasolina, e-diésel, e-keroseno, metanol, metano, amoníaco y urea a partir de corrientes de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Estas tecnologías tienen el potencial de reemplazar gradualmente los combustibles fósiles y reducir la huella de carbono. Los beneficios de estas tecnologías incluyen la reducción de costos, emisiones y tratamientos de neutralización, así como el apalancamiento de la economía circular (Ecopetrol, 2023).
- ✓ **Transformación térmica de biomasa.** EDF Colombia y Refocosta unen fuerzas para construir una planta de biomasa que suministrará energía eléctrica al Grupo Ecopetrol, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> en más de 70 mil toneladas al año. La planta, ubicada en Villanueva (Casanare), tendrá una capacidad de 25 MW y generará más de 200 GWh al año de energía verde y firme. Este proyecto es el primero de un plan de generación de energía a partir de biomasa y tendrá un impacto positivo en la economía regional y local. La construcción comenzará en el primer trimestre de 2023 y se espera que la planta esté operativa a principios de 2025. Este proyecto es un paso importante hacia la descarbonización de la matriz energética colombiana y la transición energética (Ecopetrol, 2023).
- ✓ **Reciclaje químico de plásticos.** Colombia lidera el reciclaje químico avanzado en Suramérica con un proyecto de Ecopetrol y Esenttia, en alianza con Taghleef Industries, PepsiCo y Pyrcom. Este innovador proceso transformará 500 toneladas de residuos plásticos en polipropileno 100% circular. La Refinería de Barrancabermeja convertirá aceite pirolítico en propileno, procesado luego en Esenttia para empaques flexibles de PepsiCo (Ecopetrol, 2023). Además, Esenttia inauguró en Tocancipá una planta que producirá 12 mil toneladas anuales de resinas plásticas recicladas, beneficiando a más de 10 mil recicladores. Con tecnología propia, esta planta promueve la economía circular y reduce residuos y huella de carbono (Ecopetrol, 2024).
- ✓ **SAF.** Ecopetrol está explorando rutas tecnológicas para producir combustibles renovables, incluyendo SAF y HVO, como parte de su estrategia de crecimiento y transición energética. Se están evaluando dos opciones para producir SAF: co-procesamiento y planta dedicada. Se ha realizado una prueba industrial exitosa y se planea una nueva prueba para producir jet coprocesado en 2024. Es importante desarrollar un marco regulatorio, incentivos y asegurar la disponibilidad de materias primas certificadas para habilitar la producción y comercialización de SAF. Las rutas tecnológicas ofrecen flexibilidad en cuanto a las materias primas utilizadas y presentan sinergias entre ellas. La Hoja de Ruta para el desarrollo del mercado de SAF (ver figura 18) en Colombia debe considerar un portafolio diverso de tecnologías de producción, materias primas, hidrógeno y energía renovable, con diferentes grados de sostenibilidad y valorización de productos secundarios (Garzon, 2023).

Figura 18. Hoja de ruta – SAF 2030.



Fuente: Ecopetrol, 2024.

Ecopetrol asegura el suministro de combustibles en Colombia, importando 100.000 barriles de combustible de aviación y produciendo diariamente en la Refinería de Cartagena 13.000 barriles de jet fuel, entre otros productos (Ecopetrol, 2024). En octubre de 2024, iniciará la producción de combustible sostenible para aviación (SAF), con un 5% de materias primas vegetales, alineándose con su estrategia de descarbonización. Este avance, en colaboración con entidades públicas y privadas, refuerza la transición energética y la sostenibilidad del sector aeronáutico (Ecopetrol, 2024).

### Cepsa Colombia S.A (moeve)

La transición energética requiere acelerar la innovación en todas nuestras actividades. Por eso, vamos a invertir 150 millones de euros hasta 2027 en proyectos de I+D transversales, con un enfoque en la transición energética. Nuestro equipo de I+D se ha reestructurado en cinco áreas clave: transición energética, ciencia, analítica avanzada, excelencia operativa y servicios. Cada día, más de 180 profesionales trabajan en soluciones innovadoras para descarbonizar el sector energético y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Contamos con laboratorios propios de control de calidad, equipos de última generación y plantas piloto para desarrollar procesos de producción más eficientes y sostenibles. Además, estamos acelerando el desarrollo de colaboraciones con más de 55 socios, incluyendo centros de investigación internacionales, startups y empresas, para desarrollar proyectos de innovación que tengan un impacto positivo en la sociedad. Somos realistas y sabemos que no podemos enfrentarnos a todos los retos solos, por eso buscamos trabajar en conjunto para lograr un futuro más sostenible (Cepsa, 2024).

La transición energética y la descarbonización demandan soluciones innovadoras y avanzadas. Por lo tanto, implementamos tecnologías de vanguardia para mejorar y optimizar constantemente nuestros procesos, con el propósito de acelerar la transformación que nos permita avanzar hacia la descarbonización y lograr cero emisiones netas.

A continuación, se presentan las propuestas de innovación sostenible que tiene Cepsa para un futuro más sostenible y reducir las emisiones de gases de efecto (Cepsa, 2024).

- ✓ **Transformación Digital.** La transformación digital es un motor de crecimiento y un eje fundamental para acelerar la transición energética. Por eso, Cepsa ha creado Green Digital, una estrategia digital que refleja sus compromisos y les permitirá acelerar su camino hacia la sostenibilidad. Esta estrategia se centra en cuatro pilares clave:
  1. Integrar la digitalización en el ADN de nuestros negocios para impulsar su crecimiento.
  2. Empoderar a nuestros profesionales con talento digital y fomentar una cultura digital inclusiva.
  3. Crear soluciones digitales para nuestros clientes que les ayuden a impulsar su transición energética y descarbonización.
  4. Mejorar nuestras prácticas de seguridad y gestión de riesgos utilizando tecnologías digitales para tomar decisiones basadas en datos.

Su estrategia digital 2023-2027 se compromete en:

- **Plantas nativas digitales.** Para el año 2026, todas las nuevas plantas serán diseñadas y construidas como "plantas nativas digitales", integrando tecnologías avanzadas como Inteligencia Artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT) y gemelos digitales desde su fase de diseño, construcción y operación. Esto permitirá mejorar significativamente la eficiencia operativa y el mantenimiento de nuestros activos, así como aumentar la seguridad en todos nuestros procesos.
  - **Digital control tower.** Integrará y monitoreará parámetros clave a lo largo de toda la cadena de valor, incluyendo suministro, demanda, disponibilidad y trazabilidad. Esta plataforma permitirá una mayor eficiencia y visibilidad de sus operaciones.
  - **Plataforma descarbonización.** Utilizará datos, IoT e inteligencia artificial para medir emisiones en tiempo real, predecir el progreso que tiene hacia la descarbonización y ayudará a los clientes a medir su huella de carbono.
  - **Parques energéticos.** Mediante el uso de IA y gestionando de manera inteligente los activos y capturando nuevos datos valiosos con IoT.
  - **HSEQ platform.** Prioriza la seguridad e integra la información relevante sobre salud, seguridad, riesgos e información ambiental para apoyar a nuestros profesionales.
- ✓ **I+D+i.** Investigación y desarrollo se enfoca en innovar y mejorar continuamente por eso identifican las necesidades tecnológicas que surgen en el día a día de su compañía y realizan análisis técnicos para abordarlo. Están involucrados en cada uno de los planes estratégicos y de negocio que se desarrollan en la empresa, aportando conocimiento y experiencia en tecnología para impulsar el crecimiento y la eficiencia (Cepsa, 2024).

El objetivo es proporcionar soluciones innovadoras como:

- **Centro de investigación.** El Centro de Investigación en Alcalá de Henares, Madrid, lidera iniciativas de transición energética, movilidad sostenible, hidrógeno verde y biocombustibles en España y Portugal. Con 12.000 m<sup>2</sup>, integra laboratorios avanzados y plantas piloto que optimizan procesos productivos y desarrollan biocombustibles de segunda generación. Su objetivo es fomentar la sostenibilidad, combatiendo el cambio climático y alineándose con los ODS de la Agenda 2030 y el Pacto Verde Europeo. Actualmente, desarrolla más de 30 proyectos de I+D que respaldan la estrategia "Positive Motion" y generan un impacto ambiental y social positivo.

Podemos destacar algunos de los proyectos en marcha alineados con “Positive Motion” (ver figura 19).

Figura 19. Proyectos en marcha alineados con “Positive Motion”.



Fuente: Adaptado de Centro de Investigación, Cepsa, 2024.

- ✓ **Proyectos De Innovación Industrial y Eficiencia Energética.** Se está llevando a cabo una transformación en los parques energéticos, diversificándose y aprovechando su ubicación estratégica y las últimas tecnologías digitales como el Internet de las Cosas (IoT) y la analítica avanzada. Esto les permite optimizar sus procesos de producción y mejorar la eficiencia. Además, cuentan con un equipo de expertos especializados y equipos de última generación que les permite desarrollar nuevos productos y tecnologías de producción (Cepsa, 2024).

El centro de investigación cuenta con su primer laboratorio de internet de las cosas (IOT) y proyectos como:

- Instalación de analizadores en línea en la planta de parafinas de puente Mayorga
  - Variadores de frecuencia- planta química palos de la frontera.
  - Corriente de refinado- planta química puente de Mayorga.
  - Instalación de tubos helicoidales-planta química puente de Mayorga.
  - Revamping de platforming en Gibraltar-San Roque.
  - Brazo mecánico (cobot).
  - Proyecto de integración energética-planta química palos de la frontera.
- ✓ **Open Innovation.** Cepsa está comprometida con la innovación y el emprendimiento para lograr un futuro más sostenible, y busca colaborar con otros para lograrlo. Su objetivo es

buscar tecnologías y modelos de negocios innovadores que aporten valor a sus líneas de negocio actuales y futuras, especialmente en tecnologías bajas en carbono, economía circular y nueva movilidad (Cepsa, 2024) (ver figura 20).

Figura 20. Proceso de Open Innovation de Cepsa.



Fuente: Tomado de Nuevas empresas e innovación abierta, Cepsa, 2024.

Ofrecer acompañamiento en el proceso, recursos financieros y estructura comercial para validar tecnológicamente y escalar proyectos. Aumentar las alianzas estratégicas y buscar emprendedores que compartan su visión de acelerar la transición energética y reducir las emisiones de carbono (Cepsa, 2024).

### Canacol Energy Ltd.

Canacol prioriza la eficiencia energética y la reducción de emisiones mediante sistemas de energía solar en pozos, inspección de fugas y gestión de residuos en obras civiles. Ha invertido \$132,000 en energías renovables y fue reconocida en el II Gran Foro ACP por su reúso de materiales en Sahagún, Córdoba (Canacol, 2023; Webmasteracp, 2023). Aunque su innovación tecnológica no es detallada públicamente, Canacol demuestra compromiso con la descarbonización, implementando reforestación y protegiendo la biodiversidad. Su enfoque estratégico busca mitigar impactos ambientales, alineándose con metas de carbono neutralidad y sostenibilidad a largo plazo.

## **COMPARACIÓN DE ACCIONES DE DESCARBONIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROCARBUROS**

Presentamos una matriz detallada que compara las acciones implementadas por Ecopetrol, CEPSA y Canacol en sus esfuerzos por la descarbonización. A través de esta comparación, identificamos quiénes son estas empresas, sus objetivos climáticos, los frentes de acción que han adoptado y sus compromisos específicos de reducción de emisiones (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Matriz de Descarbonización en el Sector Hidrocarburos.

EMPRESAS	ECOPETROL	CEPSA (moeve)	CANACOL
Quiénes somos	Compañía organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía.	Compañía internacional líder comprometida con la movilidad y la energía sostenibles con una sólida experiencia técnica.	Canacol es la mayor compañía independiente de exploración y producción de gas natural convencional onshore en Colombia, abasteciendo aproximadamente el 17%2 de las necesidades de gas del país.
Objetivos climáticos	Alcanzar cero emisiones netas de carbono en 2050 (alcances 1 y 2) y reducir las emisiones de CO <sub>2</sub> e en un 25% al 2030 con respecto a la línea base de 2019 para los alcances 1 y 2. Adicionalmente, reducir el 50% de las emisiones totales (alcances 1, 2 y 3) para el año 2050.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 55 % de reducción de las emisiones de alcance 1+2 en 2030 respecto a 2019.</li> <li>● 15-20 % reducción del índice de intensidad de carbono (CII) de la energía que vendemos en 2030 respecto a 2019.</li> <li>● “Net Zero” antes de 2050.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Metano cero 2026.</li> <li>● 2035 reducción del 50% de nuestras emisiones de GEI en alcance 1 y 2 respecto a nuestra línea base 2022.</li> <li>● Lograr la carbono neutralidad (alcance 1 y 2) 2050.</li> </ul>
Frentes de acción	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducción de emisiones fugitivas, venteos y quemas en teas.</li> <li>2. Energías renovables</li> <li>3. Soluciones naturales del clima.</li> <li>4. Eficiencia energética.</li> <li>5. Iniciativas de hidrógeno</li> <li>6. Uso, captura y secuestro de carbono.</li> <li>7. Almacenamiento de energía en baterías.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Movilidad sostenible.</li> <li>2. Economía circular.</li> <li>3. Hidrógeno verde.</li> <li>4. Biocombustibles 2g.</li> <li>5. Energías renovables.</li> <li>6. Eficiencia energética.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gestión del agua.</li> <li>2. Acción climática.</li> <li>3. Biodiversidad.</li> <li>4. Emisiones de gases.</li> <li>5. Gestión de residuos</li> </ol>
Compromisos de reducción	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Incrementar la eficiencia energética en 3% a 2022, 6% entre 2023 y 2028, y más del 6% entre 2029 y 2035.</li> <li>● Cero quemas rutinarias a 2030.</li> <li>● Estrategia alineada con los objetivos de la CCAC (Coalición del clima y Aire Limpio).</li> <li>● 1,2 GW de fuentes no convencionales de energía.</li> <li>● Desarrollos de pilotos de captura, uso y secuestro de carbono (CCUS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plan de Iniciativas de Eficiencia Energética de última generación para mejorar la eficiencia energética en todos nuestros centros.</li> <li>● utilizar electricidad 100 % renovable en nuestros centros de producción lo antes posible.</li> <li>● Introducir gradualmente la electrificación en nuestros procesos de producción.</li> <li>● Introduciremos gradualmente combustible renovable en nuestros centros de producción aguas abajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Medición continua de nuestras emisiones de GEI en Alcance 1,2,3</li> <li>● Proyecto de reducción de metano a través de medición continua, plan de detección y reparación de fugas, certificación OGMP.</li> <li>● Aumentar el porcentaje de energías renovables en nuestra matriz energética.</li> </ul>

EMPRESAS	ECOPETROL	CEPSA (moeve)	CANACOL
		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Producir hidrógeno 100 % renovable para autoconsumo en nuestras instalaciones de España.</li> </ul>	
Inventario de Emisiones de GEI	Emisiones totales por alcances:  <b>Alcance 1:</b> 11.879.231 tCO <sub>2</sub> e <b>Alcance 2:</b> 688.035 tCO <sub>2</sub> e <b>Alcance 3:</b> 155.520.125 tCO <sub>2</sub> e	Emisiones totales por alcances:  <b>Alcance 1:</b> 4,7 tCO <sub>2</sub> eq <b>Alcance 2:</b> 0,2 tCO <sub>2</sub> eq <b>Alcance 3:</b> 58,0 tCO <sub>2</sub> eq	Emisiones totales por alcances:  <b>Alcance 1:</b> 111.151,6 tCO <sub>2</sub> e <b>Alcance 2:</b> 28,5 tCO <sub>2</sub> e  <b>Alcance 3:</b> 3.872.238,4 tCO <sub>2</sub> e
Reducción de emisiones de GEI	581.532 tCO <sub>2</sub> e.	No reporta.	No reporta.

Fuente: elaboración propia.

La comparación de las acciones de descarbonización entre Ecopetrol, Cepsa y Canacol muestra tanto similitudes como diferencias significativas en sus enfoques.

- ✓ **Metas de Reducción.** Todas las empresas tienen objetivos ambiciosos de reducción de emisiones, aunque con distintos horizontes y alcances. Ecopetrol apunta a un 25% menos de emisiones para 2030 y cero emisiones netas para 2050. Cepsa busca una reducción del 55% para 2030. Canacol se centra en la neutralidad de carbono para 2050 con objetivos intermedios.
- ✓ **Estrategias Tecnológicas.** Ecopetrol destaca por su inversión en el Instituto Colombiano de Petróleo y Energías de la Transición (ICPet), enfocándose en innovación y tecnología. Cepsa, por su parte, apuesta por la estrategia Positive Motion 2030. Canacol, aunque con menos información sobre innovación tecnológica, se enfoca en mejoras operativas y energías renovables.
- ✓ **Enfoque en Energías Renovables.** Todas están invirtiendo en energías renovables con diferentes énfasis.
- ✓ **Gestión de Emisiones.** Ecopetrol y Cepsa tienen estrategias detalladas para reducir emisiones. Canacol se enfoca más en la eficiencia energética y control de emisiones en sus operaciones.
- ✓ **Economía Circular.** Cepsa sobresale en economía circular y biocombustibles. Ecopetrol y Canacol también abordan estas áreas, pero con menos fuerza.
- ✓ **Colaboraciones y alianzas.** Ecopetrol destaca por sus múltiples colaboraciones con universidades y centros de investigación. Cepsa y Canacol parecen tener un enfoque más interno en sus innovaciones.
- ✓ **Transparencia y Reporte.** Ecopetrol y Cepsa proporcionan información más detallada sobre sus estrategias y avances en descarbonización. La información de Canacol es más limitada.

Las empresas Ecopetrol, Cepsa y Canacol a pesar de sus diferentes contextos están implementando diversas acciones para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y descarbonizar sus operaciones. Estas acciones incluyen la reducción de emisiones fugitivas, el uso de energías renovables, la mejora de la eficiencia energética y la inversión en tecnologías innovadoras como el hidrógeno verde. Aunque cada empresa tiene un enfoque único, comparten el objetivo común de

reducir su huella de carbono y contribuir a un futuro más sostenible. En conjunto, estas estrategias reflejan un compromiso firme del sector hidrocarburos con la descarbonización, cada una adoptando enfoques diversos y tecnologías innovadoras para contribuir a un futuro más sostenible.

## CONCLUSIONES

El sector hidrocarburos está realizando esfuerzos significativos para descarbonizar sus operaciones, respondiendo a la urgente necesidad de mitigar el cambio climático. Las empresas analizadas (Ecopetrol, Cepsa y Canacol) han adoptado estrategias diversas, que incluyen la implementación de tecnologías innovadoras, la transición hacia energías renovables y la mejora de la eficiencia energética.

Ecopetrol, la principal petrolera de Colombia, ha reducido 1.491.644 toneladas de CO<sub>2</sub> entre 2020 y 2023 mediante 226 iniciativas de reducción de emisiones. Su capacidad de energías renovables alcanzó los 472 MW en 2023, destacando proyectos como los parques solares Castilla y San Fernando. Ecopetrol también está invirtiendo en hidrógeno de bajo carbono, con un plan que proyecta USD\$140 millones anuales hasta 2040, y desarrollando tecnologías como captura y almacenamiento de carbono (CCUS) y biocombustibles avanzados. Además, ha creado la Vicepresidencia de Soluciones de Bajas Emisiones para liderar la transición energética.

Cepsa ha lanzado la estrategia "Positive Motion 2030", con la meta de reducir sus emisiones de alcance 1 y 2 en un 55% para 2030 (comparado con 2019) y alcanzar cero emisiones netas en 2050. Está invirtiendo entre 7.000 y 8.000 millones de euros en esta década, destinando 150 millones de euros hasta 2027 para proyectos de I+D enfocados en la transición energética. Cepsa apuesta por la movilidad sostenible, la digitalización a través de su estrategia "Green Digital" y la colaboración con startups en soluciones sostenibles.

Canacol ha incrementado el uso de energía hidro-solar a 373 MWh en 2022, manteniendo un récord de cero consumos de diésel en sus operaciones. Con una inversión de \$132,000 dólares en energías renovables, Canacol está electrificando sus operaciones y controlando estrictamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

Estas empresas han demostrado un compromiso con la transición energética y la descarbonización, y han logrado avances notables en la reducción de emisiones y en el desarrollo de fuentes de energía más sostenibles. Sin embargo, es importante destacar que aún hay un largo camino por recorrer para lograr la descarbonización total del sector y mitigar el cambio climático. Es fundamental que estas empresas continúen invirtiendo en tecnologías innovadoras y en la transición energética. Además, es importante que se promueva la colaboración y la cooperación entre las empresas, los gobiernos y la sociedad civil para lograr un futuro más sostenible. En conclusión, el sector hidrocarburos está avanzando en la dirección correcta, pero es necesario continuar y ampliar estos esfuerzos para lograr la descarbonización y mitigar el cambio climático.

## REFERENCIAS

- Abdullah Alotaiq. (2024). Strategies to Achieving Deep Decarbonisation in Power Generation: A Review, *Journal of Economy and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.04.003>
- Asociación Colombiana del Petróleo y Gas. (2023, noviembre 7). Especial Economía circular. *REVISTA ACP Asociación Colombiana del Petróleo y Gas*. <https://acp.com.co/portal/especial-economia-circular/>
- BELTRÁN-RODRÍGUEZ, L.; LOZANO-MAYA, J. R. (2021). The Key Role of No-Carbon National Oil Companies in Global Climate Action: Leveraging the G20 Forum to Accelerate Energy Transition. *School of Public Policy Publications*, [s. l.], v. 14, n. 27, p. 1–29. Disponible em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=c71bfce6-f48f-39e0-aaa5-15d967951dfb>. Acceso em: 16 ago. 2024.
- Budinisa, S., Krevorc, S., Dowellb, N. M., Brandon, N., & Hawkesa, A. (2018). Una evaluación de los costos, las barreras y el potencial de la captura y el almacenamiento de carbono. *Sciencedirect.com*. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.08.003>
- Canacol Energy Ltd. (s. f.-a). Acción por el Clima | Canacol Energy Ltd. <https://canacolenergy.com/es/sustainability/a-cleaner-energy-future/climate-action/>
- Canacol Energy Ltd. (s. f.-b). Canacol Energy Ltd. <https://canacolenergy.com/es/about-us/who-we-are/>
- Carras, J. N., & Picard, D. (2006). EMISIONES FUGITIVAS (Capítulo 4, Vol. 2). [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_4\\_CH4\\_Fugitive\\_Emissions.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_4_CH4_Fugitive_Emissions.pdf)
- CEPSA. (2024). Conoce la historia de Cepsa - Cepsa. [Cepsa.com](https://www.cepsa.com/es/compania/historia-cepsa). Recuperado el 17 de septiembre de 2024, de <https://www.cepsa.com/es/compania/historia-cepsa>
- CEPSA. (2024). *Sostenibilidad y Responsabilidad Corporativa - Cepsa*. [Cepsa.com](https://www.cepsa.com/es/sostenibilidad). <https://www.cepsa.com/es/sostenibilidad>
- CEPSA. (2024). Plan de Sostenibilidad. [Cepsa.com](https://www.cepsa.com/es/sostenibilidad/plan-de-sostenibilidad). <https://www.cepsa.com/es/sostenibilidad/plan-de-sostenibilidad>
- CEPSA. (2024). Transformación digital de nuestras áreas y negocios - Cepsa. [Cepsa.com](https://www.cepsa.com/es/innovacion/transformacion-digital). <https://www.cepsa.com/es/innovacion/transformacion-digital>
- CEPSA. (2024). Proyectos de innovación - Cepsa. [Cepsa.com](https://www.cepsa.com/es/innovacion/proyectos). <https://www.cepsa.com/es/innovacion/proyectos>
- Cepsa. (2024). [Cepsa.com](https://www.cepsa.com/es/compania/historia-cepsa). <https://www.cepsa.com/es/compania/historia-cepsa>
- CHEREPOVITSYN, A.; RUTENKO, E. (2022). Strategic Planning of Oil and Gas Companies: The Decarbonization Transition. *Energies* (19961073), [s. l.], v. 15, n. 17, p. 6163. DOI 10.3390/en15176163. Disponible em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=66a863d3-7a61-3bc7-8a39-762c67320042>.
- Communications. (2024, 27 junio). ¿Qué es el dióxido de carbono (CO2) y cómo impacta en el planeta? *BBVA NOTICIAS*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-dioxido-de-carbono-co2-y-como-impacta-en-el-planeta/>
- Devia Orjuela, N. H., Medina Neira, L. K. y Arciniegas Barrera, K. A. (2024). Oportunidades en la transformación de las empresas del sector Oil & Gas desde la transición energética justa en el departamento del Meta. *Episteme. Revista de divulgación en estudios ocioterritoriales*, 15(2). <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/episteme/article/view/9701>
- de Geotermia, E. Geotermia Oil & Gas.(s/f). Geotermia Oil & Gas. Google Academico. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de [https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Lopez-5/publication/349822746\\_GEOTERMIA\\_OILGAS/links/60424bdb299bf1e078572da8/GEOTERMIA-OIL-GAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Lopez-5/publication/349822746_GEOTERMIA_OILGAS/links/60424bdb299bf1e078572da8/GEOTERMIA-OIL-GAS.pdf)
- Ecopetrol. (2013, marzo). El Biodiesel: Una semilla hecha ENERGÍA. [http://file:///C:/Users/Familia/Downloads/79976\\_Entorno\\_Verde\\_Vol\\_7.pdf](http://file:///C:/Users/Familia/Downloads/79976_Entorno_Verde_Vol_7.pdf)
- Ecopetrol. (12 noviembre del 2013). Ecopetrol recibe tercera patente de biocombustibles en Colombia. <http://file:///C:/Users/Familia/Downloads/Ecopetrol+recibe+tercera+patente+de+biocombustibles+en+Colombia.pdf>
- Ecopetrol. (2021, noviembre 2). Acerca de Ecopetrol. [Ecopetrol](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/acerca-de-ecopetrol). <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/acerca-de-ecopetrol>
- Ecopetrol. (2021, marzo 25). *Grupo Ecopetrol anuncia compromiso y plan para lograr cero emisiones netas de carbono en 2050*. [Ecopetrol](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/?1dmy&page=detalleNoticias&urile=wcm:path:/ecopetrol_wcm_library/as_es/noticias/noticias%2B2021/reduccion-emisiones). [https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/?1dmy&page=detalleNoticias&urile=wcm:path:/ecopetrol\\_wcm\\_library/as\\_es/noticias/noticias%2B2021/reduccion-emisiones](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/?1dmy&page=detalleNoticias&urile=wcm:path:/ecopetrol_wcm_library/as_es/noticias/noticias%2B2021/reduccion-emisiones)
- Ecopetrol. (2021, marzo). Innovación Abierta. [Ecopetrol](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/innovacionytecnologia/innovacion-abierta). <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/innovacionytecnologia/innovacion-abierta>
- Ecopetrol. (2021, marzo). Misión de Sabios. [Ecopetrol](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/innovacionytecnologia/mision-de-sabios). <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/innovacionytecnologia/mision-de-sabios>
- Ecopetrol. (4 de noviembre 2021). Grupo Ecopetrol adjudicó contrato para la construcción de nuevo parque solar en el Huila. [Ecopetrol](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/contrato-nuevo-parque-solar-huila). <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/contrato-nuevo-parque-solar-huila>

- Ecopetrol. (30 de abril 2021). Energía renovable - Renewable energy. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/ambiental/energia-fuentes-alternativas/energia-renovables>
- Ecopetrol. (26 de julio 2022). La Vicepresidencia de Gas de Ecopetrol se transforma en la Vicepresidencia de Soluciones de Bajas Emisiones. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/vicepresidencia-soluciones-bajas-emisiones>
- Ecopetrol. (2022). *ENERGÍA QUE TRANSFORMA ESTRATEGIA 2040*. PDF. <https://files.ecopetrol.com.co/web/esp/cargas/web/noticias/VCM/estrategia-2040.pdf>
- Ecopetrol. (2022, enero 18). Plan Estratégico de Hidrógeno del Grupo Ecopetrol. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/ambiental/energia-fuentes-alternativas/plan-estrategico-de-hidrogeno-del-grupo-ecopetrol>
- Ecopetrol. (18 de marzo 2022). El Grupo Ecopetrol inició la producción de hidrógeno verde en Colombia. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/el-grupo-ecopetrol-inic-la-produccion-de-hidrogeno-verde-en-colombia>
- Ecopetrol. (23 de mayo 2022). Ecopetrol sella alianza con seis empresas internacionales para desarrollo de hidrógeno. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/alianza-internacional-hidrogeno>
- Ecopetrol. (18 de julio 2022). Ecopetrol y Toyota firman acuerdo para iniciar prueba de movilidad con hidrógeno. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/acuerdo-ecopetrol-toyota>
- Ecopetrol. (6 de abril 2022). Grupo Ecopetrol redujo más de 490 mil toneladas de carbono en dos años. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/ge-redujo-490-mil-toneladas-carbono>
- Ecopetrol. (27 de marzo 2023). En marcha primera operación de movilidad sostenible con hidrógeno de bajas emisiones en transporte público en Colombia. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/en-marcha-primera-operacion-de-movilidad-sostenible-con-hidrogeno-de-bajas-emisiones-en-transporte-publico-en-colombia>
- Ecopetrol. (2023, mayo 12). Ecopetrol se une a compromiso internacional para acelerar la descarbonización. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/ecopetrol-se-une-a-compromiso-int-acelerar-descarbonizacion>
- Ecopetrol. (2023, 10 febrero). Cambio climático. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/ResponsabilidadEtiqueta/Medio%20ambiente/cambio-climatico-et#:~:text=En%202023%20Ecopetrol%20se%20prepara,corresponde%20a%2013.659.049%20tCO%E2%82%82e>
- Ecopetrol. (2023, febrero 17). *Grupo Ecopetrol anuncia la creación de Econova, la nueva red de innovación abierta*. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/grupo-ecopetrol-anuncia-la-creacion-de-econova-la-nueva-red-de-innovacion-abierta>
- Ecopetrol. 2023. Innovación, Desarrollo e Investigación. Ecopetrol. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de [https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/noticias/cambio-climatico/innovacion-desarrollo-investigacion/tut/p/z1/pZLJbsJADiafhctcxrNPjoEsTRsSVkHmUkVtStNSiEjE8zcsEgI1UyQszWGs\\_7Ot38YG L7HZ5PtyITfldpOv239m5GvqPmmiOaQQBQRGE1f4wynQIKV4cRQkVA5IxMkiPObA2A8GNFCawgvFpps HyW95Pev7Lf\\_ssHjowWjI7-PhKlzoT2ifAYSptf9lfugIF-7jLQM-wieJeoSPXCYf6h-c\\_bPYs8DmKLFdwLXgJxXfVJBzrxX4ejyJYxKCOAtsS\\_5vTGPz4WizRXDy0VbBCxXOWidV5yUIwNNDjb rJd02yfS9wJrRzyFS7Yh-XdYMzQEohwhmiQBCVEjHKEXM04sJBgrbvQgw-i7dvnH3k67rA1c\\_8FEsoozL6EtU-Eate7xcwdxOe/](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/noticias/cambio-climatico/innovacion-desarrollo-investigacion/tut/p/z1/pZLJbsJADiafhctcxrNPjoEsTRsSVkHmUkVtStNSiEjE8zcsEgI1UyQszWGs_7Ot38YG L7HZ5PtyITfldpOv239m5GvqPmmiOaQQBQRGE1f4wynQIKV4cRQkVA5IxMkiPObA2A8GNFCawgvFpps HyW95Pev7Lf_ssHjowWjI7-PhKlzoT2ifAYSptf9lfugIF-7jLQM-wieJeoSPXCYf6h-c_bPYs8DmKLFdwLXgJxXfVJBzrxX4ejyJYxKCOAtsS_5vTGPz4WizRXDy0VbBCxXOWidV5yUIwNNDjb rJd02yfS9wJrRzyFS7Yh-XdYMzQEohwhmiQBCVEjHKEXM04sJBgrbvQgw-i7dvnH3k67rA1c_8FEsoozL6EtU-Eate7xcwdxOe/)
- Ecopetrol. (2023, agosto 3). Alianza entre Ecopetrol, Baker Hughes y CHEC para impulsar la energía geotérmica en Colombia. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/alianza-entre-ecopetrol-baker-hughes-y-chec-para-impulsar-la-energia-geotermica-en-colombia>
- Ecopetrol. (2023, enero 23). EDF Colombia y Refocosta construirán planta de biomasa para suministrar energía eléctrica al Grupo Ecopetrol. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/edf-colombia-y-refocosta-construiran-planta-de-biomasa>
- Ecopetrol. (2023, octubre 26). Colombia, pionera en reciclaje químico avanzado en Suramérica. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/colombia-pionera-reciclaje-quimico-avanzado-suramerica>
- Ecopetrol. (2024, 28 junio). Cambio climático. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/ambiental/accion-por-el-clima/informacion-emisiones-gei#:~:text=Para%20el%20a%C3%B1o%202023%2C%20el,3%20corresponden%20a%20~155%20MtCO%E2%82%82e>

- Ecopetrol. (2024, julio). Nuevo Icpet impulsará el futuro de la transición energética de Colombia. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/nuevo-icpet-impulsara-el-futuro-de-la-transicion-energetica-de-colombia>
- Ecopetrol. (23 de enero 2024). Ecopetrol duplicó en 2023 su meta de incorporación de proyectos de generación eléctrica con fuentes de energía renovable. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/ecopetrol-duplico-en-2023-su-meta-de-incorporacion-de-proyectos-de-generacion-electrica-con-fuentes-de-energia-renovable>
- Ecopetrol. (2024). Refinería de Cartagena redujo emisiones de CO<sub>2</sub>e que equivalen a 21 días sin carro en Bogotá. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/refineria-cartagena-redujo-emisiones-co2>
- Emisiones de dióxido de carbono | US EPA. (2024, 30 mayo). Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Econova. (2024). Econova.co. <https://www.econova.co/>
- Ecopetrol. (2024, octubre). Ecopetrol inauguró la Granja Solar La Cira Infantas, en Santander. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/ecopetrol-inauguro-la-granja-solar-la-cira-infantas-en-santander>
- Ecopetrol. (28 de junio 2024). Reducción de emisiones de GEI. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostenibilidad/ambiental/accion-por-el-clima/reduccion-emisiones-gei>
- Ecopetrol. (2024). Esenttia puso en operación nueva planta de resinas plásticas recicladas en Tocancipá. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/esenttia-puso-en-operacion-nueva-planta-de-resinas-plasticas-recicladas-en-tocancipa>
- Ecopetrol. (2024, agosto 26). Ecopetrol garantiza al país el suministro de combustible para aviación. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/ecopetrol-garantiza-suministro-combustible-aviacion>
- Ecopetrol. (2024, octubre 3). Refinería de Cartagena iniciará prueba de producción de combustible sostenible de aviación. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/refineria-de-cartagena-iniciara-prueba-de-produccion-de-combustible-sostenible-de-aviacion>
- Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono y Resiliente al Clima (ECDBC) -. (2024, 9 mayo). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-colombiana-de-desarrollo-bajo-en-carbono-ecdbc/>
- ENEL. (2022). Eficiencia Energética: Todo Lo Que Debes Saber. <https://www.enel.com.co/es/historias/a202204-eficiencia-energetica-todo-lo-que-debes-saber.html>
- Fenoge. (s. f.). ¿Qué es el hidrógeno y cuáles son sus aplicaciones ? <https://fenoge.gov.co/gestion-del-conocimiento/que-es-el-hidrogeno-y-cuales-son-sus-aplicaciones/>
- FATTOUH, B.; POUDINEH, R.; WEST, R. The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy exists for oil companies and oil-exporting countries? *Energy Transitions*, [s. l.], v. 3, n. 12, p. 45–58, 2019. DOI 10.1007/s41825-019-00013-x. Disponible em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=654749ad-532b-3077-aa47-e11aa591fc97>. Acceso em: 16 ago. 2024.
- Fattouh, B., Poudineh, R., y West, R. (2018). El auge de las energías renovables y la transición energética: ¿qué estrategia de adaptación deben adoptar las compañías petroleras y los países exportadores de petróleo? <https://www.oxfordenergy.org/publications/rise-renewables-energy-transition-adaptation-strategy-oil-companies-oil-exporting-countries/>
- Fernández Sánchez, R. (2023). Diferencias estratégicas de las majors del petróleo ante la transición energética: opciones, motivaciones e implicaciones. *Arbor*, 199(807), a691. <https://doi.org/10.3989/arbor.2023.807005>
- Garzon, L. (2023, octubre 27). Tecnologías para Producción de SAF. Ecopetrol. <https://www.aerocivil.gov.co/atencion/informaci%C3%B3n/Acuerdos-Internacionales/MesasTecnicas/ECOPETROL%20-%20TECNOLOG%C3%8DAS%20SAF.pdf>
- JARBOUI, S.; ALOFAYSAN, H. (2024). Global Energy Transition and the Efficiency of the Largest Oil and Gas Companies. *Energies* (19961073), [s. l.], v. 17, n. 10, p. 2271. DOI 10.3390/en17102271. Disponible em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=e6288004-ccf9-340b-92cd-e0b9570b1f37>. Acceso em: 16 ago. 2024.
- La transición energética justa es una apuesta de Gobierno y de país. (2023). Minenergía. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-transición-energética-justa-es-una-apuesta-de-gobierno-y-de-país/>
- Las energías renovables para la transición energética. (2022, 21 marzo). <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/transicion-energetica/fuentes-renovables>
- López Hernández, O, Ramírez Vega, L y Bueno Cadena, A. (2021). El rol del sector hidrocarburos en la transición energética. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/51024>
- Louvrier Quintanal, V. M. (2023). Iniciativas empresariales con relación a la reducción de emisiones de energía como primer paso hacia un mundo más sostenible. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/69661>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021, junio 15). ¿Qué es el Cambio Climático? -. Gov.co. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/que-es-el-cambio-climatico/>
- Ministerio de Minas y Energía (2021). Hoja de ruta para el hidrógeno en Colombia. Gov.Co. <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/enlace-ruta-hidrogeno/>
- Molano Rodríguez, P. A. (2022). Descarbonización: una meta ambiciosa a 2050. Universidad de los Andes. <https://uniandes.edu.co/es/noticias/ambiente-y-sostenibilidad/descarbonizacion-una-meta-ambiciosa-a-2050>
- Muñoz Cervero, J. M. (2023). INICIATIVAS EMPRESARIALES EN PRO DE LA SOSTENIBILIDAD: Hidrogeno Verde como una fuente de energía renovable. [https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/69306/TFG\\_final\\_Junio%20-%20NOMBRE.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/69306/TFG_final_Junio%20-%20NOMBRE.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)
- Naciones Unidas (2024). ¿Qué es el cambio climático? Www.un.org. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Parra Rodas, J, et al. (2023). *¿Un sector eléctrico sin combustibles fósiles en Colombia a 2030? : explorando escenarios y estrategias de salida de los combustibles fósiles en el sector eléctrico colombiano*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86225>
- Perico, N. B. (s/f). Así es el primer carro matriculado en Colombia que funciona con hidrógeno verde. Portafolio.co. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-presento-el-primer-carro-matriculado-en-colombia-que-funciona-con-hidrogeno-verde-610077>
- Qué es la descarbonización: principios y acciones regulatorias. (2024). Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/conocenos/descarbonizacion-economia-principios-acciones-regulacion>
- Qué es la descarbonización y principales claves para conseguirla | Repsol. (2024, 6 febrero). REPSOL. <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/descarbonizacion/index.cshhtml#:~:text=La%20descarbonizaci%C3%B3n%20es%20un%20proceso,ga nader%C3%ADa%20y%20la%20agricultura%20intensivas.>
- ¿Qué es la captura y almacenamiento de dióxido de carbono? (s. f.). GreenFacts. <https://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/1-2/1-secuestro-carbono.htm>
- REPSOL. (2024, 1 julio). Captura, Almacenamiento y uso del carbono. <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/nuevos-desarrollos-tecnologicos/index.cshhtml#:~:text=%C2%BFEn%20qu%C3%A9%20consiste%20la%20captura,segura%20para%20su%20futuro%20uso.>
- Rodríguez, J. (2023, 16 agosto). *Impactos salud de reducir el uso de los combustibles fósiles*. Citizens' Climate Lobby. <https://citizensclimatelobby.org/es/blog/politicas/impactos-salud-de-reducir-el-uso-de-los-combustibles-fosiles/#:~:text=La%20quemado%20de%20combustibles%20f%C3%B3siles, costos%20directos%20como%20los%20indirectos>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Día Mundial por la Reducción de las Emisiones de CO2. gov.mx. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-mundial-por-la-reduccion-de-las-emisiones-de-co2-233219#:~:text=Un%20co-beneficio%20importante%20de, o%20la%20contaminaci%C3%B3n%20del%20agua.>
- Simancas Caraballo, D., & Rodríguez Arturo, Y. (s. f.). LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DE TEA PARA QUEMA DE GAS NATURAL EN PRODUCCIÓN. En Agencia Nacional de Hidrocarburos Colombia - ANH. [https://www.anh.gov.co/documents/23272/Lineamientos\\_Técnicos\\_para\\_la\\_Evaluación\\_de\\_Eficiencia\\_de\\_Tea.pdf](https://www.anh.gov.co/documents/23272/Lineamientos_Técnicos_para_la_Evaluación_de_Eficiencia_de_Tea.pdf)
- Soler, D. M. (2023, abril 12). En 2024, Ecopetrol iniciará piloto de biocombustibles avanzados. Portafolio. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/en-2024-ecopetrol-iniciara-piloto-de-biocombustibles-avanzados-582156>
- Scavone, G. M., Sanabria, V. R., & del Valle Mestre, G. (2023). Medición del desempeño frente al cambio climático de la industria del petróleo y gas: Measuring the performance of the oil and gas industry in the face of climate change. *Vestigium Revista de la Dirección de Investigación*, (1). <https://p3.usal.edu.ar/index.php/vestigium/article/view/6900/9303>.
- United Nations. (s. f.). ¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Webmasteracp. (2023, 4 mayo). Con tecnología, innovación y experiencia, la industria del Petróleo y Gas contribuye al desarrollo sostenible de Colombia. Asociación Colombiana del Petróleo y Gas. <https://acp.com.co/portal/tecnologia-innovacion-y-experiencia-la-industria-del-petroleo-y-gas-contribuye-al-desarrollo-sostenible-de-colombia/>
- Yáñez, E., Ramírez, A., Núñez-López, V., Castillo, E., & Faaij, A. (2020). Exploring the potential of carbon capture and storage-enhanced oil recovery as a mitigation strategy in the Colombian oil industry. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 94(102938), 102938. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.102938>



## **"Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad"**



# HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN COLOMBIA

Mayorga Villalba, Lilia Adriana., Gaviria Calvajal, Julián Andrés., Peña Bernal, Jennifer  
Andrea., y Meza Naranjo, Carlos Mauricio\*

[julian.gaviria@unipaz.edu.co](mailto:julian.gaviria@unipaz.edu.co), [jennifer.pena@unipaz.edu.co](mailto:jennifer.pena@unipaz.edu.co), [carlos.meza@unipaz.edu.co](mailto:carlos.meza@unipaz.edu.co)

*Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ*

*\*Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental GIAS-UNIPAZ*

## RESUMEN

La construcción de infraestructura vial en Colombia contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), impacta gravemente al medio ambiente. El problema central radica en las emisiones derivadas del uso de maquinaria pesada y la producción de materiales como el cemento y el acero, fundamentales para las obras viales. Esta monografía tiene como objetivo identificar oportunidades para reducir la huella de carbono en este sector. La metodología utilizada fue una revisión sistemática de la literatura. Se buscaron artículos en distintas bases de datos como Scopus, Gale y Google Scholar utilizando descriptores relacionados con "Huella de Carbono". seleccionando 22 estudios relevantes de un total de 561, bajo criterios de inclusión como acceso completo y relación con el sector vial. Cada artículo fue analizado mediante fichas bibliográficas para extraer información clave. Los hallazgos de esta investigación identificaron las principales fuentes de emisiones de carbono en la construcción vial en Colombia, además, se estableció que las prácticas actuales, como el uso de maquinaria diésel y materiales vírgenes, siguen siendo intensivas en emisiones de CO<sub>2</sub> y el estudio destacó la aplicación de tecnologías más limpias y la eficiencia energética como prácticas emergentes en el sector. En conclusión, se reconocieron diversas oportunidades de reducción de la huella de carbono, como el uso de biocombustibles, agregados reciclados y pavimentos perpetuos, los cuales no solo disminuyen las emisiones, sino también optimizan el ciclo de vida de las obras viales, reduciendo la necesidad de intervenciones y mantenimiento.

**Palabras claves:** dióxido de carbono, gases de efecto invernadero GEI, metano, obras viales.

CONTENIDO	Pág.
HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	<a href="#">46</a>
PRÁCTICAS ACTUALES Y TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN	<a href="#">53</a>
OPORTUNIDADES DE MEJORA Y EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL	<a href="#">57</a>

## CONTEXTO

El cambio climático, impulsado principalmente por la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, es uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. Compuestos como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NOx) atrapan el calor solar, intensificando el efecto invernadero y elevando la temperatura global. Este fenómeno genera impactos críticos, como el aumento del nivel del mar, eventos climáticos extremos y alteraciones en los patrones de precipitación (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021). En este contexto, la huella de carbono se posiciona como un indicador clave para medir la contribución humana al cambio climático, expresando en toneladas de CO<sub>2</sub>e la cantidad de GEI liberados de forma directa o indirecta (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2016). Aunque el metano y el óxido nítrico están presentes en menores cantidades, su mayor potencial de calentamiento global los convierte en objetivos prioritarios para la mitigación (IPCC, 2014).

Colombia ha establecido un marco normativo sólido para reducir su huella de carbono, alineándose con compromisos internacionales como el Acuerdo de París. La Ley 1931 de 2018, que creó el Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA), promueve la sostenibilidad en proyectos de desarrollo, enfocándose en la disminución de emisiones de GEI (Congreso de Colombia, 2018). Por su parte, la Ley 1715 de 2014 fomenta el uso de energías renovables y la eficiencia energética, factores esenciales en la transición hacia una economía baja en carbono (Congreso de Colombia, 2014). El Decreto 926 de 2017, al establecer un impuesto nacional al carbono, busca desincentivar el uso de combustibles fósiles e incentivar el desarrollo de tecnologías limpias (Presidencia de la República de Colombia, 2017). Adicionalmente, la Resolución 1447 de 2018 introduce una estructura regulatoria para la reducción de emisiones en sectores como la construcción (MADS, 2018). Este marco se complementa con las Normas Técnicas Colombianas (NTC), que proporcionan directrices estructuradas para gestionar los GEI, como la NTC ISO 14064 (Organización Internacional de Normalización, 2018).

La construcción de infraestructura vial representa una actividad clave para el desarrollo económico y social de Colombia, pero también un reto ambiental significativo. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el sector de la construcción genera cerca del 30% de las emisiones de GEI del país (2020). Estas emisiones provienen de diversas fuentes. En primer lugar, la producción de materiales como el cemento, el acero y el asfalto es altamente intensiva en carbono. La fabricación de cemento libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> durante el proceso de calcinación, mientras que el acero requiere energía mayoritariamente proveniente de fuentes no renovables (Asociación Colombiana de Productores de Concreto [Asocreto], 2018). En segundo lugar, el transporte de materiales, realizado con vehículos pesados que suelen ser ineficientes en el consumo de combustible, incrementa significativamente la huella de carbono de los proyectos (IDEAM, 2016; Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2019). Por último, el uso de maquinaria pesada como excavadoras, grúas y camiones, que operan principalmente con diésel o gasolina, representa otra fuente importante de emisiones continuas durante la construcción (Asocreto, 2018; Asociación Nacional de Industriales [ANDI], 2020).

La optimización energética en la producción de materiales y el uso de equipos, junto con la adopción de tecnologías limpias y energías renovables, son esenciales para reducir la huella de carbono en la construcción vial. Estas medidas no solo mitigarían el impacto ambiental, sino que también posicionarían a Colombia como un líder regional en prácticas sostenibles. Dado este contexto, surge una pregunta clave: ¿Cómo puede Colombia aprovechar las oportunidades actuales para reducir la

huella de carbono en la construcción de infraestructura vial, alineándose con las metas de sostenibilidad global?

Esta investigación busca responder a esta interrogante mediante un análisis exhaustivo de las prácticas actuales y su alineación con el marco normativo vigente, explorando las estrategias más efectivas para mitigar las emisiones de GEI en el sector. La construcción vial, siendo tanto una necesidad como una oportunidad para avanzar hacia la sostenibilidad, requiere un enfoque integral que combine la innovación tecnológica con la implementación efectiva de políticas públicas y normativas existentes.

## ***HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL***

En el contexto actual de la sostenibilidad, la construcción de infraestructura vial en Colombia enfrenta el desafío de reducir su efecto en el medio ambiente, especialmente en lo que respecta a las emisiones de carbono. Este documento aborda las oportunidades en ese sector, disminuyendo la huella de carbono, analizando las fuentes principales de emisiones durante la fase de construcción y evaluando las prácticas y tecnologías que se implementan en la actualidad. Asimismo, se proponen diversas oportunidades de mejora y optimización para reducir las emisiones generadas, con un enfoque en el uso de tecnologías limpias y materiales sostenibles. La normatividad existente también se examina para entender el marco regulatorio que influye en las decisiones del sector.

### ***Definición y Concepto***

De acuerdo con Rodríguez et al. (2018, p. 2), caracteriza la huella de carbono como la suma de emisiones de gases de efecto invernadero y su eliminación en un sistema producto, representadas como CO<sub>2</sub> equivalente. Esta idea facilita la cuantificación de los efectos durante todo el ciclo de vida de un proyecto, desde la obtención de materias primas hasta el traslado y la gestión de desechos. Durante la etapa de construcción, la huella de carbono proviene principalmente del uso de maquinaria pesada, la fabricación y transporte de materiales, y las operaciones de construcción que requieren de grandes volúmenes de energía y recursos. Según El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero vinculados a dichas acciones aportan de manera considerable tanto al calentamiento global como al cambio climático (IPCC, 2014).

Asimismo, el análisis del ciclo de vida (ACV) está estrechamente ligado al concepto de huella de carbono, ya que es una metodología utilizada para evaluar los impactos ambientales desde la fase de producción hasta la disposición final. Este enfoque permite identificar las etapas clave en las que se pueden implementar estrategias para reducir las emisiones (Osorio-Tejada et al., 2024, p. 3). Tal como apuntan Bovea et al. (2016, p. 5), la huella de carbono se puede disminuir al reducir el uso de materias primas vírgenes mediante procesos de reciclaje.

### ***Normatividad en Colombia***

En Colombia, los esfuerzos por reducir la huella de carbono han tomado un rumbo cada vez más estructurado y definido. La Ley 2169 de 2021 marca un avance crucial en este sentido, fomentando el desarrollo del país con bajo contenido de carbono, a través de la definición de objetivos y acciones básicas en términos de neutralidad y resistencia al clima (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2021), lo que no solo fortalece el compromiso del país con el medio ambiente, sino

que también proporciona una guía precisa para las industrias que aspiran a alinearse con estos objetivos.

Asimismo, la implementación de normativas como la Resolución 0552 de 2022, ha sido clave para el desarrollo y promoción de los mercados de carbono en Colombia. Según esta resolución, se estructuran los mecanismos que permiten que las empresas comercialicen bonos de carbono, lo que no solo incentiva la reducción de emisiones, sino que genera nuevas oportunidades económicas (Resolución 0552, 2022).

En cuanto a las herramientas de medición, la ISO 14064 se posiciona como un estándar internacional fundamental para la verificación de la huella de carbono. Esta norma, que surgió en 2006, las condiciones para medir e informar sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que simplifica la creación de inventarios exactos de GEI. Además, el GHG Protocol, uno de los marcos más utilizados globalmente, ofrece directrices claras para calcular la huella de carbono en una empresa, lo que permite a las organizaciones generar informes que están alineados con las normativas internacionales (ISO, 2006, p. 45).

Por otro lado, la Resolución 1962 de 2017 es otro pilar normativo en Colombia, estableciendo límites precisos para los indicadores de emisiones de CO<sub>2</sub>, que en el país se fijan en 789 kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, p. 39). Esta medida tiene un impacto directo en las cadenas productivas y se aplica a todas las industrias que expulsan gases que provocan el efecto invernadero. Además, establece la obligatoriedad de disminuir las emisiones en un 20% de manera gradual, incentivando a las empresas a adoptar prácticas más sostenibles.

Es importante destacar que el gobierno también ha adoptado incentivos fiscales que fomentan la sostenibilidad. Algunas de estas medidas incluyen la eliminación del IVA para inversiones en tecnologías que protejan el medio ambiente, así como deducciones en el impuesto de ingresos para las compañías que inviertan en la disminución de las emisiones de contaminantes. (Ministerio de Hacienda, 2021, p. 102).

El marco normativo ambiental colombiano incluye una serie de resoluciones, decretos y leyes diseñados para prevenir y controlar la contaminación atmosférica, además de fomentar prácticas sostenibles. Estas regulaciones abarcan distintos aspectos relacionados con fuentes móviles, fijas e inventarios de emisiones, destacando las siguientes disposiciones:

- Fuentes móviles y emisiones de vehículos: Resoluciones como la 3002 (1991) y la 1969 (1992) regulan niveles máximos de contaminantes de motores a gasolina y diésel. El Decreto 2107 (1995) prohíbe emisiones visibles excesivas y crudos pesados, mientras el Decreto 1228 (1997) exige certificación para vehículos importados o ensamblados.
- Fuentes fijas y estándares de emisión: Normas como la Resolución 391 (2001) y la 909 (2008) establecen límites de emisiones para actividades industriales, mientras el Decreto Único Reglamentario 1076 (2015) regula la calidad del aire a nivel nacional.
- Monitoreo y control: La Resolución 650 (2010) implementa protocolos para vigilancia de calidad del aire, y la 1962 (2017) define límites para emisiones específicas, como el etanol.
- Sostenibilidad y mercados de carbono: Leyes como la 2169 (2021) y la Resolución 0552 (2022) promueven la carbono neutralidad y establecen mecanismos de mercado.
- Normas internacionales: La ISO 14064-1:2018 ofrece un marco global para cuantificar y verificar emisiones de GEI.

Este conjunto normativo busca proteger el medio ambiente, fomentando prácticas sostenibles y alineándose con metas globales de carbono neutralidad y resiliencia climática.

### ***Fuentes y procesos que generan emisiones***

Varios estudios reflejan que los principales procesos emisores en la construcción de una vía están vinculados a la producción de materiales, el uso de maquinaria pesada y las actividades de mantenimiento, sugiriendo que la implementación de soluciones más sostenibles podría reducir las emisiones a largo plazo. En primer lugar, la producción de materiales como los agregados utilizados en la construcción tiene un impacto significativo. Según Rodríguez et al. (2023), la producción de agregados en Tolúviego genera emisiones significativas de CO<sub>2</sub>, alcanzando hasta 21,58 kg CO<sub>2</sub> eq por metro cúbico de triturado, lo que resalta la necesidad de mitigar estos impactos (p. 2).

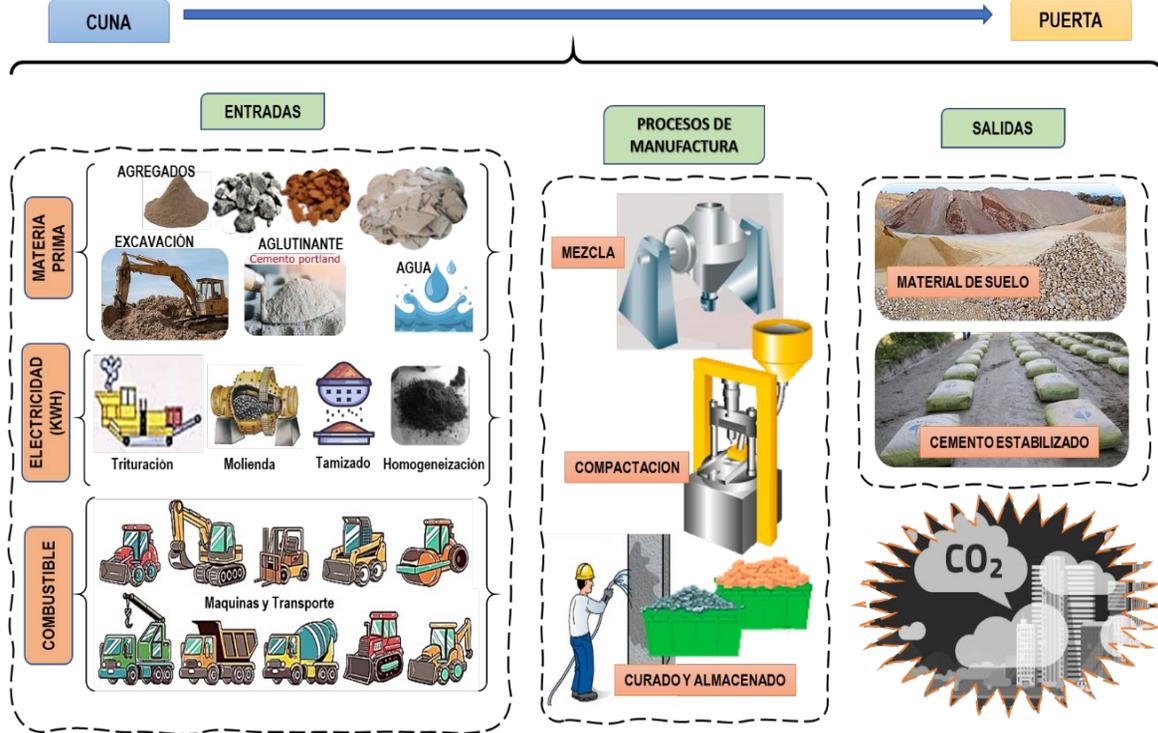
En la etapa de construcción de una vía, las fuentes y procesos que generan emisiones de carbono están estrechamente vinculadas a la fabricación de materiales, el traslado de estos y la aplicación de maquinaria pesada. Según la investigación de Osorio-Tejada et al. (2024), las excavadoras y volquetas son las causantes de hasta el 45% de las emisiones asociadas al uso de combustible en determinados proyectos, resaltando la relevancia del mantenimiento preventivo para incrementar la eficiencia. (p. 11). De manera similar, Vega A et al. (2022) indican que la utilización de agregados reciclados en los compuestos asfálticos no solo disminuye la utilización de agregados naturales, sino que también reduce considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, que pueden ascender hasta un 65% en relación a los agregados vírgenes. Haga clic o pulse aquí para escribir texto (p. 3)

También es crucial abordar las emisiones derivadas de la energía utilizada en el proceso de construcción. Bovea et al. (2016) subrayan que la recuperación de energía durante la administración de desechos y la puesta en marcha de prácticas de reciclaje pueden reducir considerablemente la huella de carbono en todas las etapas del ciclo de vida de los materiales empleados. (p. 5)

Hernández (2021) afirma que la construcción es un sector clave en las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, lo que indica la necesidad urgente de políticas de mitigación específicas para este sector (p. 14). Asimismo, Beltrán Castro et al. (2021) subrayan que, en las rutas de pavimento flexible, las tareas de pavimentación y mantenimiento aportan de manera considerable en la huella de carbono. Haga clic o pulse aquí para escribir texto. El uso de maquinaria pesada para el extendido y compactación del asfalto, junto con el traslado de materiales desde las instalaciones de producción hasta el lugar de edificación, constituyen una porción significativa de las emisiones producidas. De esta manera, Polo-Mendoza et al. (2023), sugieren que, aunque los pavimentos perpetuos pueden reducir las emisiones a lo largo del tiempo debido a la menor frecuencia de mantenimiento, la fase inicial de construcción continúa siendo una fuente significativa de emisiones. Esta etapa implica la utilización intensiva de energía y materiales, especialmente en el proceso de extracción y traslado de los recursos requeridos. (p.7)

Chica et al., (2023), realizó una comparación con sistemas similares de la literatura hechos de suelos de alta calidad, el límite del sistema en este estudio fue "de la cuna a la puerta", tal como se representa en el siguiente esquema:

Figura 1. Límites del sistema y procesos incluidos



Nota: Este esquema se representa del estudio de Chica et al., (2023) "de la cuna a la puerta".

Fuente: Elaboración propia.

En la fase de entradas, se identifican los recursos y materias primas esenciales para la producción. Entre los materiales se encuentran los agregados (arena, piedras), aglutinantes (como el cemento), y el agua. Estos materiales son procesados mediante actividades de excavación, trituración, molienda, tamizado, y homogeneización (Chica et al., 2023). Además, se requiere de electricidad para el funcionamiento de las máquinas, y de combustibles para operar la maquinaria pesada utilizada tanto en la extracción como en el transporte de estos materiales.

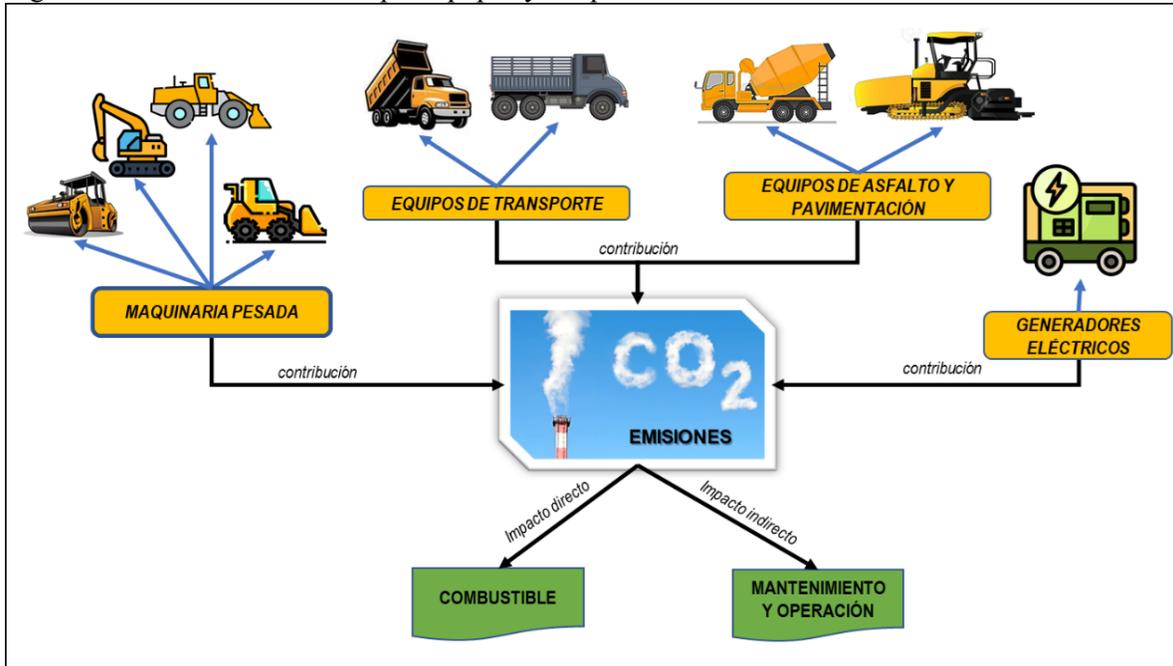
En la fase de procesos de manufactura, los materiales se transforman en productos finales a través de tres etapas. Primero, se realiza la mezcla de los agregados, el aglutinante y el agua, formando una combinación adecuada para su uso. Luego, la mezcla pasa por un proceso de compactación, en el cual una máquina comprime el material para darle la densidad y forma necesarias. Finalmente, el material se somete a un proceso de curado y almacenado, donde se deja reposar para que alcance la resistencia requerida antes de ser transportado o utilizado en la construcción. (Polo-Mendoza et al., 2023)

Chica et al., (2023), la fase de salidas presenta los productos resultantes del proceso. Entre estos, se destacan el material de suelo listo para uso en obras civiles y el cemento estabilizado, que es un producto final preparado para diversas aplicaciones constructivas. Sin embargo, también se observan emisiones de CO<sub>2</sub>, subproducto inevitable del uso de combustibles en el proceso de manufactura y transporte, lo cual representa una contribución significativa a la huella de carbono del sector (Polo-Mendoza et al., 2023).

## Equipos y Maquinaria

En la construcción de infraestructura vial, el uso de equipos y maquinaria pesada es fundamental para realizar actividades como la excavación, nivelación, pavimentación y compactación del terreno. Sin embargo, estos equipos son grandes emisores de gases de efecto invernadero (GEI) debido a su consumo de combustibles fósiles. A continuación, una representación esquemática de las principales fuentes de emisiones de carbono durante la etapa de construcción de una vía, destacando el impacto de diferentes tipos de maquinaria y equipos utilizados en el proceso. (Ver figura 2)

Figura 2. Fuentes de Emisiones por equipos y maquinaria



Fuente: Elaboración propia.

Estas fuentes incluyen maquinaria pesada, equipos de transporte, equipos de asfalto y pavimentación, y generadores eléctricos, los cuales contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CO<sub>2</sub>, debido al consumo de combustible y a las demandas asociadas al mantenimiento y operación de dichos equipos. Durante la construcción de una vía, las emisiones de carbono provienen de diferentes fuentes, como se ilustra en la figura.

En primer lugar, la maquinaria pesada, que incluye excavadoras, retroexcavadoras y compactadoras, juega un papel central en la generación de emisiones, tal como lo explican Hernández (2021) y García Ochoa et al. (2020), quienes subrayan que el uso intensivo de estos equipos, alimentados por combustibles fósiles, genera cantidades significativas de CO<sub>2</sub> debido a su operación prolongada en las fases de excavación y nivelación.

Los equipos de transporte, que involucran camiones y vehículos pesados para mover materiales dentro y fuera del sitio de construcción, también aportan significativamente a las emisiones de carbono. Osorio-Tejada et al. (2024), mencionan que estos vehículos emiten no solo CO<sub>2</sub>, sino también otros contaminantes, como NO<sub>x</sub> y partículas, lo que agrava el impacto ambiental durante el proceso.

Por otra parte, los equipos de asfalto y pavimentación son esenciales en la última fase de construcción, donde la mezcla y aplicación de asfalto contribuye de manera significativa a las emisiones. Esto está en línea con lo que Moya et al. (2019), identifican en su estudio sobre la construcción de carreteras, en donde se observó que la maquinaria de pavimentación utilizada durante largos períodos genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. A esto, suma los generadores eléctricos que se usan para alimentar diferentes procesos durante la construcción también contribuyen a las emisiones, particularmente cuando se emplean combustibles fósiles. Acuña et al., (2023), destacan la importancia de adoptar estrategias sostenibles, como la implementación de tecnologías más limpias en generadores, para reducir la huella de carbono en estas operaciones

De esta manera, se refleja cómo cada uno de estos componentes, desde la maquinaria pesada hasta los generadores eléctricos, tienen una contribución directa o indirecta en las emisiones de CO<sub>2</sub>, y resalta la necesidad de estrategias eficientes en la gestión de combustibles y el mantenimiento y operación de los equipos para mitigar su impacto ambiental.

### **Transporte y Logística**

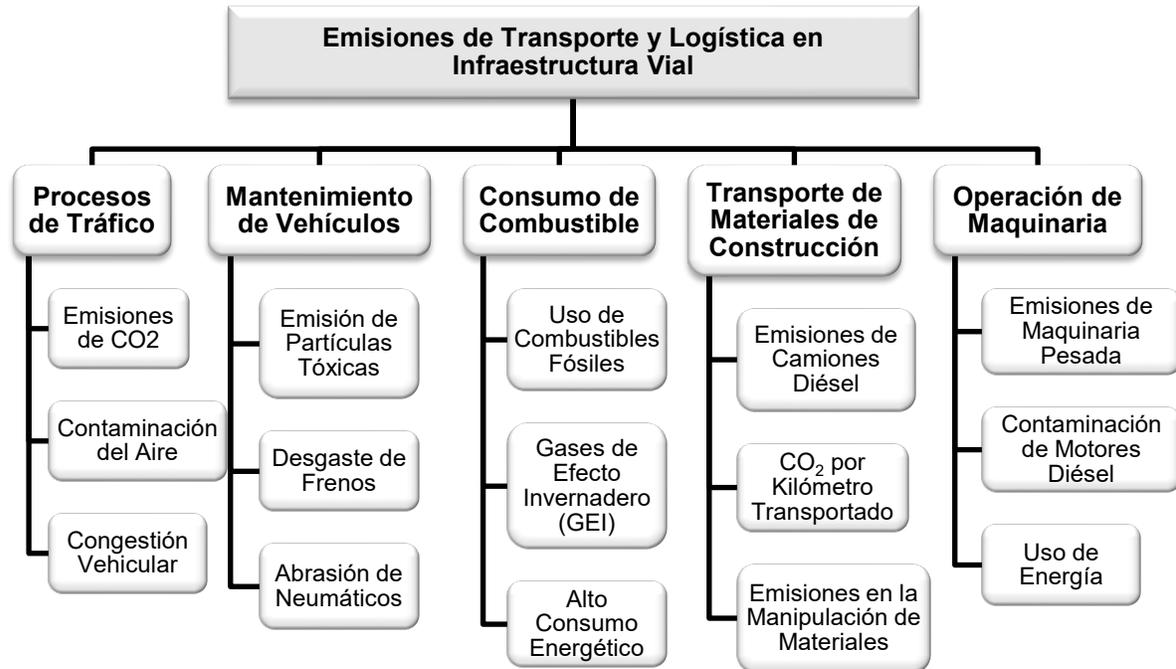
Las emisiones derivadas del transporte de materiales de construcción, la maquinaria utilizada y el propio desarrollo de la obra impactan significativamente el medio ambiente. La distancia entre el origen de los materiales y el sitio de la obra influye directamente en la cantidad de emisiones generadas durante el transporte (González-Valdéz et al., 2015). De esta manera, Osorio-Tejada et al. (2024) señalan que “el proceso de tráfico es el principal responsable de los impactos ambientales en Colombia”, y no solo el uso de combustible contribuye a estas emisiones, sino también el mantenimiento de los vehículos y el desgaste de los frenos que liberan partículas tóxicas al aire y al agua (p. 19). Este dato nos indica que es fundamental implementar soluciones más eficientes y sostenibles en la cadena logística.

Para Colombia, diversas investigaciones han analizado las repercusiones de la logística de transporte en el sector de construcción, tratando la utilización de combustibles fósiles y la liberación de gases de efecto invernadero (GEI), y la relevancia de implementar prácticas más sustentables. Por otro lado, Rodríguez et al. (2018) enfatizan que la logística en el transporte de materiales es otro factor crucial que genera emisiones significativas. En su estudio, se determinó que, durante el transporte de agregados para la construcción, se generan aproximadamente 0.76 kg de CO<sub>2</sub> por metro cúbico transportado (p. 10). Esto demuestra que incluso en la movilización de materiales, se pueden generar emisiones que afectan el medio ambiente.

Además, Sandoval Gaviria & Gutiérrez-Fernández, (2021) resaltan que, en la logística del transporte de materiales y personal para la construcción de infraestructuras viales, el uso de combustibles fósiles es un factor determinante en la generación de gases de efecto invernadero, destacando que el transporte constituye uno de los principales causantes de la huella de carbono en la industria (p. 7). En un análisis más detallado, Beltrán Castro et al., (2021) identificaron que el impacto ambiental del transporte y la logística durante la construcción y mantenimiento de vías es uno de los factores que más contribuye a la huella de carbono. Alrededor del 58.86% de las emisiones en proyectos viales se atribuyen a actividades de transporte y extracción de materias primas (p. 7). Asimismo, Moya et al. (2019), al estudiar la infraestructura vial en el proyecto de la carretera La Abundancia-Florencia, también encontraron que el transporte de materiales y maquinaria tiene un peso significativo en la emisión de CO<sub>2</sub>, lo que confirma que esta etapa es fundamental para lograr una infraestructura vial más sostenible en Colombia (p. 8).

En la figura 3, se ilustra las fuentes de emisiones generadas por el transporte y la logística en la infraestructura vial en Colombia. Este esquema proporciona una visión clara de cómo las actividades de transporte y logística afectan el medio ambiente, permitiendo identificar áreas clave para la mejora.

Figura 3. Sistema de Transporte



Fuente: Elaboración propia.

La congestión vehicular y el uso intensivo de los vehículos en las carreteras generan altas emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes atmosféricos. Esto no solo afecta la calidad del aire, sino que también incrementa la huella de carbono de la infraestructura vial. La gestión de la congestión y la implementación de sistemas de tráfico más eficientes son cruciales para reducir estas emisiones. (Hernández, 2021)

Cabrera-Madrid et al., (2016), contempla que las operaciones de mantenimiento de vehículos tienen un impacto significativo en las emisiones, ya que el desgaste de frenos y neumáticos libera partículas tóxicas que afectan la calidad del aire y el agua. Asimismo, García Ochoa et al., (2020), este es un aspecto que muchas veces se subestima, pero que representa una fuente considerable de contaminación ambiental.

González-Valdéz et al. (2015), manifiesta que, la utilización de combustibles fósiles continúa siendo uno de los factores más significativos en la liberación de gases de efecto invernadero (GEI). De igual, Beltrán Castro et al., (2021), la demanda de energía y el uso constante de vehículos en las vías generan grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, esto subraya la importancia de transitar hacia fuentes de energía más ecológicas y eficaces.

De esta manera, Cabrera-Madrid et al., (2016), Vargas-López et al. (2022) y García Ochoa et al., (2020), establecen que, el movimiento de materiales de construcción mediante camiones diésel

también contribuye significativamente a las emisiones de CO<sub>2</sub>, especialmente por la gran cantidad de kilómetros recorridos y el tipo de combustible utilizado. Además Moya et al., (2019), manifiesta que la manipulación y transporte de estos materiales representan una fuente de contaminación que impacta directamente en el entorno. También refuerzan esta idea al analizar la construcción de la carretera La Abundancia-Florencia, donde se determinó que la mayoría de las emisiones eran causadas por la utilización de materiales y el pavimento.

## ***PRÁCTICAS ACTUALES Y TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN***

La etapa de construcción de una carretera incluye procesos que consumen grandes cantidades de energía y materiales, lo cual genera significativas emisiones de gases contaminantes. Para mitigar estos efectos, se han desarrollado estrategias que incorporan el estudio del ciclo de vida (ACV) y la utilización de materiales reciclados.

Por ejemplo, el estudio de Rodríguez et al., (2018) sobre la producción de materiales agregados en Colombia destaca la necesidad de poner en marcha tácticas para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> en actividades como la obtención de piedra caliza, que producen emisiones considerables de gases de efecto invernadero. Se emplea la metodología PAS 2050 para medir la huella de carbono generada por la fabricación de materiales de construcción. Del mismo modo, Vega et al. (2022) exploraron la viabilidad de utilizar agregados de concreto reciclado (ACR) en mezclas asfálticas, concluyendo que el uso de hasta un 30% de estos materiales puede mejorar la sostenibilidad del pavimento, reduciendo considerablemente los indicadores de impacto ambiental. Este enfoque muestra que los avances en la tecnología de materiales reciclados contribuyen a la reducción de las emisiones durante la construcción.

Otra tecnología implementada es el uso de pavimentos perpetuos (PP), los cuales, según Polo-Mendoza et al., (2023), son más ecológicos y generan menores costos durante su ciclo de vida debido a la disminución en las actividades de mantenimiento y rehabilitación en comparación con los pavimentos convencionales. Estos pavimentos, al minimizar las intervenciones durante su vida útil, logran un balance más sostenible. Asimismo, Bovea et al. (2016) destacan la relevancia del análisis del ciclo de vida como un instrumento esencial para valorar el rendimiento ambiental en diferentes fases de la edificación, resaltando que una adecuada administración de desechos y el reciclaje son vitales para disminuir el impacto.

### **Eficiencia Energética y Tecnologías Limpias**

El sector de la construcción, que es uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero, está en la búsqueda constante de soluciones sustentables que fomenten una disminución en el uso de energía y una dependencia reducida de los recursos naturales no renovables.

A continuación, el siguiente cuadro sintetiza algunas prácticas actuales y tecnologías utilizadas para la disminución de la huella de carbono en la construcción de infraestructura vial, basadas en estudios recientes:

Cuadro 1. Prácticas o tecnologías para la reducción de la huella de carbono

<b>Práctica o Tecnología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Beneficios en la Reducción de Huella de Carbono</b>
Uso de biocombustibles	Implementación de biodiésel mezclado con diésel tradicional en transporte de materiales.	Reduce las emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes del transporte, aunque se deben considerar los impactos en biodiversidad por la producción de biodiésel.
Agregados reciclados en pavimentos	Incorporación de agregados de concreto reciclado (RCA) en mezclas asfálticas.	Disminuye la demanda de agregados vírgenes y reduce emisiones de CO <sub>2</sub> , especialmente en porcentajes del 15% y 30% de reciclado.
Pavimentos perpetuos (PP)	Pavimentos diseñados para tener una vida útil superior a 50 años con menores necesidades de mantenimiento.	Reducción significativa en las actividades de mantenimiento, las cuales representan el mayor impacto ambiental en pavimentos convencionales.
Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	Evaluación de los impactos ambientales durante todo el ciclo de vida de los materiales y procesos utilizados en la construcción.	Permite identificar y reducir los impactos en las diferentes etapas de la construcción, optimizando las prácticas sostenibles.
Uso de cenizas volantes y aditivos en concreto	Reemplazo parcial del cemento Portland por cenizas volantes y otros aditivos en la construcción de concreto.	Reduce las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas con la producción de cemento, uno de los principales factores que contribuyen a la huella de carbono en el sector de la construcción, es la construcción.
Mezclas de asfalto tibio	Uso de asfalto de mezcla tibia (WMA) que requiere temperaturas más bajas de fabricación en comparación con el asfalto caliente.	Disminuye el consumo energético durante la producción de asfalto y disminuye la liberación de gases de efecto invernadero (GEI).
Sistemas de aislamiento térmico externo (ETICS)	Uso de materiales reciclados en los adhesivos y revestimientos de sistemas de aislamiento térmico.	Reduce la huella de carbono del proceso de construcción en un 30% en comparación con productos estándar.
Tecnologías de compostaje y uso de polvo de roca	Aplicación de estrategias sostenibles en el tratamiento de residuos y uso de materiales alternativos en la construcción.	Mitiga las emisiones de CO <sub>2</sub> y promueve la circularidad de los materiales en la construcción.

*Nota:* Este cuadro se forma con la información extraída de la base de datos bibliográfica.

Fuente: Elaboración propia.

Este cuadro muestra cómo diferentes prácticas y tecnologías están ayudando a reducir la huella de carbono en la construcción, permitiendo una mayor sostenibilidad ambiental en el sector. López-Malest et al., (2024), destacan la importancia de implementar innovaciones verdes en el sector, específicamente en la construcción de carreteras, mediante el uso de materiales reciclados y tecnologías limpias. Su estudio sobre la creación de adhesivos sostenibles para aislamiento térmico en la industria de la construcción demuestra cómo estos avances pueden cumplir con las políticas de reducción de huella de carbono, al tiempo que mejoran la eficiencia energética de los procesos constructivos.

En cuanto a la utilización de agregados reciclados en las mezclas asfálticas, Vega et al. (2022) subrayan que la incorporación de entre un 15% y un 30% de agregados reciclados no solo reduce la cantidad de materiales vírgenes necesarios, sino que también disminuye el consumo energético durante la producción del asfalto. Esta tecnología limpia optimiza el proceso, haciéndolo más eficiente en términos de energía, lo cual se traduce en una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

La evaluación ambiental y energética mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), como lo plantean Osorio-Tejada et al. (2024), se ha convertido en una herramienta clave para identificar los impactos de cada fase de la construcción de vías. Estos autores resaltan la necesidad de aplicar tecnologías limpias no solo en la producción de materiales, sino también en las operaciones de transporte y logística asociadas, que son responsables de una parte significativa del consumo energético y las emisiones del sector.

Por su parte, Acuña et al., (2023) proponen la adopción de estrategias sostenibles, como el uso de polvo de roca y compostaje, en la construcción de infraestructuras. Estas tecnologías limpias han demostrado ser efectivas en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, a la vez que incrementan la eficiencia energética en proyectos de construcción a gran escala. Los resultados obtenidos en el sector de los puertos son replicables en el contexto de las carreteras, donde el ahorro energético es crucial.

Finalmente, Rodríguez et al. (2018) examinan la producción de agregados para la construcción y concluyen que la implementación de prácticas más eficientes en el uso de energía, junto con la adopción de tecnologías limpias, es vital para reducir el impacto ambiental. Su investigación en el municipio de Toluviéjo, Colombia, demuestra que mediante la aplicación de tecnologías avanzadas y limpias se puede disminuir significativamente la huella de carbono asociada a la producción de materiales de construcción.

### **Gestión de Residuos y Materiales Sostenibles**

Con el incremento de los residuos de construcción y demolición, la implementación de estrategias sostenibles que promuevan el reciclaje y la reutilización de materiales ha cobrado mayor importancia. Vega et al. (2022) argumentan que las mezclas asfálticas con agregados reciclados, como el concreto, pueden reducir significativamente las emisiones de GEI en la construcción de pavimentos, especialmente al reemplazar entre un 15% y 30% de los agregados tradicionales por materiales reciclados. Este tipo de iniciativas no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también mejora la durabilidad de los pavimentos, lo que reduce los costos asociados al mantenimiento a largo plazo. Chica et al., (2023), presenta resultados experimentales para el diseño de mezclas compactadas compuestas de suelos excavados del Valle de Aburrá, RCD y cemento, que se seleccionan como principal insumo de los prefabricados RCD, generación de nuevos materiales a partir de residuos. La

implementación de este tipo de flujo de residuos es clave para reducir los problemas ambientales asociados con el uso de la tierra, lo que también genera importantes ahorros de honorarios.

El reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) es otro eje clave en la sostenibilidad de proyectos viales. Pardo Álvarez et al., (2022) destacan en su investigación la importancia de cumplir con la normativa Resolución 0472 de 2017 en Colombia, la cual promueve el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), esta regulación exige el aprovechamiento de RCD, incentivando su uso en nuevas construcciones y generando un impacto positivo en el medio ambiente. Su estudio concluye que la sustitución de agregados vírgenes por materiales reciclados es fundamental para reducir la huella de carbono en el sector constructor, subrayando que el uso de ceniza volante y aditivos superplastificantes puede mejorar el rendimiento de los concretos sostenibles.

Además, la producción de agregados para la construcción, como se observa en el estudio de Rodríguez et al. (2018), también genera una huella de carbono significativa debido a la extracción de materiales de fuentes naturales. Sin embargo, el uso de técnicas de producción más eficientes y la adopción de tecnologías sostenibles pueden ayudar a mitigar estos efectos. La incorporación de agregados reciclados, como señala Vega et al. (2022), es una estrategia prometedora para reducir la dependencia de materiales vírgenes, mejorando así la sostenibilidad de los proyectos viales.

Por otro lado, los pavimentos perpetuos han demostrado ser una alternativa eficaz para reducir tanto los impactos ambientales como los costos asociados al mantenimiento, especialmente en zonas con altos volúmenes de tráfico como Barranquilla, según Polo-Mendoza et al., (2023). Estos pavimentos requieren menos intervenciones a lo largo de su ciclo de vida, lo que no solo reduce las emisiones de GEI sino también minimiza los costos y la interrupción del tráfico. Mientras que, Chica et al. (2023) proponen una solución sostenible para la reutilización de suelos excavados y residuos de construcción y demolición en la fabricación de elementos hidráulicos. La investigación demuestra que estas mezclas compactadas, utilizando residuos de concreto, no solo mejoran las propiedades mecánicas de los materiales, sino que también contribuyen a una gestión más eficiente de los residuos generados durante la construcción.

En el ámbito del pavimento, Araujo et al., (2023) evalúan el uso de agregado de concreto reciclado en la fabricación de mezclas asfálticas tibias. Su estudio revela que el reemplazo parcial de agregados naturales por reciclados puede ser beneficioso tanto desde el punto de vista ambiental como económico, mejorando la sostenibilidad y reduciendo la cantidad de residuos que se destinan a los vertederos.

En línea con este enfoque, Vargas-López et al., (2022), destacaron la caracterización de concretos geopoliméricos reforzados con fibras, que presentan una huella de carbono significativamente menor en comparación con los concretos tradicionales. Estos materiales, además, ofrecen una mayor resistencia mecánica, lo que prolonga su vida útil y reduce la necesidad de intervenciones frecuentes

Asimismo, Beltrán Castro et al. (2021) examinan el impacto de la gestión de residuos en proyectos de pavimento flexible. Este estudio subraya que, aunque la etapa de construcción genera una cantidad significativa de residuos, es la fase de mantenimiento la que tiene el mayor impacto ambiental. Enfatizan la importancia de implementar metodologías estandarizadas para cuantificar la huella de carbono en proyectos viales, destacando la necesidad de mejorar los procesos de construcción y mantenimiento de vías para minimizar su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

Tal y como lo afirma Bovea et al. (2016), el reciclaje y la correcta gestión de los residuos pueden evitar una parte significativa de las emisiones de GEI. Además, la relevancia de aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar el desempeño ambiental de la gestión de residuos en Iberoamérica. Su investigación concluye que la recogida selectiva y el reciclaje son fundamentales para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de gestión de residuos en la construcción, reduciendo no solo el impacto en los vertederos, sino también las emisiones asociadas al manejo de estos materiales.

Por último, García Ochoa et al. (2020) indican que la fase operativa de las infraestructuras viales es la principal responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub> en proyectos de infraestructura. A través del análisis del ciclo de vida (ACV), se pueden identificar oportunidades para reducir las emisiones, lo que incluye el uso de materiales reciclados y la optimización de las operaciones de mantenimiento

### ***OPORTUNIDADES DE MEJORA Y EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL***

La infraestructura vial en Colombia enfrenta un contexto lleno de desafíos y oportunidades de mejora, especialmente en términos de sostenibilidad y eficiencia. Uno de los aspectos más relevantes es el impacto ambiental que genera la construcción y mantenimiento de las vías. Según Osorio-Tejada et al. (2024), la implementación de tecnologías más limpias en el transporte de carga podría contribuir a mitigar el desgaste que sufren las carreteras por el tráfico pesado, lo que a su vez reduciría la necesidad de frecuentes actividades de mantenimiento. Esto es crucial, dado que uno de los principales problemas en la infraestructura vial colombiana es precisamente el deterioro acelerado por el uso continuo, especialmente en zonas de alta densidad vehicular.

Una oportunidad clara de mejora radica en la utilización de materiales reciclados en las mezclas asfálticas y la reducción de las distancias de transporte de materiales. De acuerdo con Polo-Mendoza et al. (2023), la extracción de materias primas es la subetapa que genera la mayor parte de la carga ambiental en las estructuras de pavimento. Por tanto, la sustitución de materiales vírgenes por materiales reciclados, como el cemento Portland y agregados naturales por SCM (Materiales Cementantes Suplementarios) y RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado), no solo reduce los impactos ambientales en un 16 %, sino que también disminuye los costos monetarios hasta un 5 % (p. 17). Esto es especialmente relevante en el contexto colombiano, donde la disponibilidad de materiales y la logística son factores clave en la planificación de proyectos de infraestructura vial.

Además, el estudio de Araujo et al. (2023) destaca que, al comparar mezclas asfálticas convencionales (HMA0) con las que incluyen concreto reciclado (WMA45), se obtienen reducciones significativas en diversas categorías de impacto ambiental, como el agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global y la eutrofización (p. 9). Esta información es esencial, pues subraya cómo la transición hacia materiales reciclados en la infraestructura vial puede contribuir directamente a la mitigación del cambio climático y mejorar la calidad ambiental en Colombia.

Un aspecto igualmente importante es la optimización de las etapas de transporte y construcción. Aunque Polo-Mendoza et al. (2023) señalan que la reducción de distancias en el transporte de materiales no afecta de manera significativa las cargas ambientales totales (menos del 0,4 %), esta estrategia incrementa la rentabilidad financiera hasta en un 40 % (p. 17). Esto evidencia que las mejoras en la logística, combinadas con el uso de materiales reciclados, pueden generar beneficios económicos sustanciales para los proyectos viales.

En línea con lo anterior, los agregados producidos a partir de residuos de construcción y demolición (RCD) presentan una alternativa ambientalmente sostenible. Pardo Álvarez et al., (2022) destacan que el uso de estos materiales reduce en un 65 % las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y en un 58 % el consumo de energía no renovable. Estas reducciones tienen un impacto positivo en la salud pública, los recursos naturales y el ecosistema, lo que convierte a los RCD en una opción prometedora para la construcción de infraestructura vial (p. 3).

La implementación de pavimentos perpetuos (PP) en Colombia también representa una oportunidad de mejora significativa. Estos pavimentos, diseñados para una vida útil de más de 50 años, requieren menos actividades de mantenimiento en comparación con los pavimentos convencionales. Polo-Mendoza et al. (2023) demuestran que los PP generan una menor carga ambiental, con la mayor parte del impacto concentrado en la etapa de construcción inicial, mientras que los pavimentos tradicionales demandan una mayor cantidad de recursos y generan más emisiones a lo largo de su ciclo de vida debido a las frecuentes intervenciones de mantenimiento. La adopción de esta tecnología podría reducir considerablemente los costos a largo plazo y mejorar la sostenibilidad de las infraestructuras viales en el país.

Asimismo, la estandarización y medición de las emisiones de GEI es fundamental para evaluar el progreso hacia una infraestructura vial más sostenible. García Ochoa et al. (2020) señalan que, si bien existen estándares como PAS 2050, ISO TS 14067 y el Protocolo GHG para informar sobre las emisiones de GEI, aún no existe un método aceptado internacionalmente que permita medir de manera consistente y comparable las reducciones de estas emisiones en los proyectos de infraestructura (p. 7). La adopción de un marco normativo más riguroso y homogéneo contribuiría a mejorar la transparencia en la gestión ambiental de los proyectos viales en Colombia.

En el contexto colombiano, la evaluación del ciclo de vida (ACV) emerge como una herramienta clave para la planificación de proyectos de infraestructura. Vega et al. (2022) subrayan que el uso de esta metodología permite identificar las etapas críticas donde es posible optimizar recursos y disminuir el impacto ambiental. Por ejemplo, al aplicar el ACV en la producción de agregados para la construcción, Rodríguez et al. (2018) encontraron que la producción y transporte de estos materiales generan una cantidad considerable de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que subraya la necesidad de adoptar estrategias más sostenibles, como el uso de combustibles más limpios y la optimización del transporte.

### **Identificación de Emisiones**

En estudios variados, se destaca la importancia de cuantificar la huella de carbono en los proyectos viales para identificar oportunidades de mejora y reducción de impactos ambientales. Este enfoque, optimista y comprometido, no solo fortalece el sector de infraestructura, sino que también impulsa a Colombia hacia un futuro más sostenible. En este contexto, un ejemplo notable es la concesión Alto Magdalena S.A.S., que abarca el corredor vial Honda – Puerto Salgar – Girardot, con una longitud de 190 km, en el cual se han utilizado metodologías como el GHG Protocol y la ISO 14064 para la estimación de la huella de carbono durante las etapas de operación y mantenimiento. Estas herramientas permiten cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas principalmente por el consumo de combustibles fósiles y energía eléctrica (Beltrán Vila & Hernández Rojas, 2023, p. 3).

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) constituye el 99.89% de las emisiones totales en este proyecto, seguido por el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) con un 0.08% y el metano (CH<sub>4</sub>) con un 0.03%, lo cual refleja que la mayor parte de las emisiones proviene del uso de combustibles como la gasolina E10 y el diésel B10 para la operación de la flota vehicular y los equipos (Beltrán Vila & Hernández Rojas, 2023, p. 9). Además de las emisiones directas, el consumo de energía eléctrica en las áreas contractuales del corredor se ha gestionado mediante una combinación de fuentes tradicionales y energías renovables. En particular, se han implementado paneles solares para alimentar el sistema de iluminación en las intersecciones y glorietas, lo que contribuye a reducir la huella de carbono del proyecto

Un estudio adicional sobre la vía Pasto-Rumichaca también destaca la capacidad de la infraestructura vial colombiana para reducir su huella de carbono. Este proyecto logró una disminución del 50% en las emisiones de GEI, lo que representa la eliminación de aproximadamente 100,000 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales (Cardona Guzmán, Herrera Rodríguez & Ortiz Rico, 2023, p. 21). A pesar de los avances, se identificaron desafíos como la fragmentación de hábitats y la alteración de migraciones, lo que señala la importancia de equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental.

A nivel internacional, la construcción de carreteras es una de las actividades más intensivas en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Un análisis realizado en un proyecto vial en Costa Rica reveló que la producción de materiales para asfalto fue responsable del 98% de las emisiones totales durante la fase de construcción, lo que subraya la necesidad de utilizar materiales reciclados y optimizar las técnicas de mezcla asfáltica (Moya, Salazar & Alfaro, 2019, p. 14).

En Colombia, la tendencia hacia el uso de tecnologías limpias y la implementación de energías alternativas también ha ganado fuerza. Estas iniciativas en Colombia no solo evidencian el impacto de la infraestructura vial en las emisiones de GEI, sino que también destacan las oportunidades para implementar estrategias sostenibles, como el uso de materiales reciclados y la mejora en la eficiencia de los procesos de construcción y mantenimiento.

### **Evaluación de Prácticas Actuales**

En Colombia revela un panorama en el que, aunque existen avances significativos, aún queda mucho por mejorar en términos de sostenibilidad y reducción de impacto ambiental. El enfoque actual se basa principalmente en la estimación de la huella de carbono, utilizando metodologías estandarizadas como el GHG Protocol y la ISO 14064, las cuales han sido aplicadas en diversos proyectos viales, como el corredor Honda – Puerto Salgar – Girardot. Este tipo de análisis ha permitido identificar las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante las fases de construcción y operación (Beltrán Vila & Hernández Rojas, 2023, p. 1)

Uno de los puntos críticos evaluados ha sido la dependencia de los combustibles fósiles. En los proyectos actuales, el uso de gasolina y diésel sigue siendo la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>, representando el 99.89% del total de GEI generados en algunos corredores viales. Este dato resalta la necesidad de explorar alternativas como los biocombustibles o vehículos eléctricos, que aún no son comunes en la operación de infraestructura vial en el país (Beltrán Vila & Hernández Rojas, 2023, p. 9)

En cuanto a la etapa de construcción, uno de los principales hallazgos es que el uso de materiales reciclados en la mezcla asfáltica ha comenzado a implementarse en proyectos recientes, como la vía Pasto-Rumichaca. Este enfoque ha permitido no solo reducir los costos, sino también disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>. La implementación de estas prácticas en más proyectos a nivel nacional podría

representar una estrategia clave para lograr los objetivos de sostenibilidad del sector (Cardona Guzmán et al., 2023, p. 21)

Además, las actividades de mantenimiento rutinario juegan un papel crucial en la sostenibilidad de la infraestructura vial. A pesar de que se realizan con regularidad, los estudios revelan que esta fase sigue contribuyendo significativamente a la huella de carbono de los proyectos. En el corredor vial Honda – Puerto Salgar – Girardot, por ejemplo, el mantenimiento rutinario implica el uso constante de maquinaria que consume combustibles fósiles, lo que genera una huella de carbono considerable (Moya et al., 2019, p. 50)

Otra práctica emergente es la adopción de energías renovables, especialmente a través de la instalación de paneles solares en algunas áreas contractuales para reducir el consumo de energía eléctrica convencional. Aunque esta estrategia ha sido aplicada en proyectos puntuales, su masificación en futuras concesiones sería un paso importante hacia la descarbonización del sector (Polo-Mendoza et al., 2023, p. 49)

No obstante, uno de los desafíos principales sigue siendo la falta de una normativa clara que establezca valores permisibles de huella de carbono para el sector vial en Colombia. Las empresas concesionarias han adoptado prácticas sostenibles de manera voluntaria, lo que refleja una oportunidad para el gobierno de implementar regulaciones más estrictas que aseguren el cumplimiento de estándares internacionales y nacionales en todos los proyectos viales del país (Beltrán Vila & Hernández Rojas, 2023, p. 12)

### **Reconocimiento de Oportunidades de Reducción**

Según diversos estudios, La infraestructura vial es uno de los sectores con mayor impacto ambiental, no solo por la cantidad de recursos que consume, sino también por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que genera a lo largo de su ciclo de vida, desde la producción de materiales hasta el mantenimiento y operación de las vías.

Uno de los estudios más relevantes en este campo es el realizado por Polo-Mendoza et al. (2023), quienes evaluaron la viabilidad de implementar Pavimentos Perpetuos (PP) frente a pavimentos convencionales en Barranquilla, Colombia. El análisis indicó que que estos últimos generan menores emisiones durante su ciclo de vida, debido a su durabilidad y la menor necesidad de mantenimiento, con una disminución significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a su mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento a lo largo de su vida útil. En este caso, el 63-80% del impacto ambiental ocurre durante la construcción inicial, mientras que las actividades de mantenimiento de los pavimentos convencionales generan entre el 59-83% de las emisiones a lo largo de su vida útil, principalmente durante las actividades de mantenimiento y rehabilitación (p. 7).

Adicionalmente, el estudio de Osorio-Tejada et al. (2024) señala que una de las principales fuentes de emisiones en el sector del transporte en Colombia proviene del uso de combustibles fósiles y el desgaste de neumáticos y frenos, lo cual resalta la importancia de mejorar la eficiencia energética y la adopción de biocombustibles en los proyectos de infraestructura vial (p. 3). En línea con esto, su estudio sugiere que el uso de tecnologías limpias en la producción de biodiésel puede traer beneficios climáticos importantes, aunque es necesario analizar su origen para evitar impactos adversos en la biodiversidad.

Por otra parte, la investigación de Rodríguez et al. (2021), que evalúa la huella de carbono en la producción de agregados para la construcción en Tolúviejo, destaca que la producción de materiales como la gravilla, el triturado y la arena lavada genera emisiones significativas de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, el triturado emite 21.58 kg CO<sub>2</sub> Eq por metro cúbico, lo que subraya la importancia de adoptar estrategias para reducir estas emisiones a través de tecnologías más eficientes y limpias (p. 6).

Una alternativa prometedora la utilización de agregados reciclados en la construcción de pavimentos es una alternativa clave para reducir el impacto ambiental. Vega et al. (2022) evaluaron el uso de asfalto mezclado con agregados de concreto reciclado (ACR) y concluyeron que la mezcla con un 30% de agregados reciclados es la opción más sostenible, ya que reduce considerablemente las emisiones de GEI y el agotamiento de recursos naturales. Esta mezcla también mostró un mejor desempeño en términos de sostenibilidad comparada con las opciones convencionales de asfalto (p. 4).

En general, el uso de materiales reciclados en pavimentos y la adopción de tecnologías más eficientes en las fases de construcción y operación ofrecen oportunidades valiosas para reducir la huella de carbono. La investigación de Chica et al. (2023) destaca la viabilidad técnica y ambiental del uso de suelos excavados y residuos de construcción en elementos hidráulicos, y concluyeron que estos materiales no solo son adecuados desde una perspectiva técnica, sino que también contribuyen a la sostenibilidad al reducir la necesidad de materiales vírgenes (p. 10).

Por último, es fundamental el cumplimiento de normativas como la Resolución 0472 de 2017, la cual regula el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición en Colombia. Pardo Álvarez et al. (2022) explican que esta normativa es esencial para promover el uso de concretos sostenibles y mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector de la construcción. La implementación de tecnologías y prácticas más sostenibles, como el uso de ceniza volante y aditivos superplastificantes, puede ayudar a reducir las emisiones significativamente y cumplir con los estándares ambientales exigidos (p. 8).

## CONCLUSIONES

La investigación, basada en una revisión exhaustiva de la literatura científica, permite comprender que la mayor parte de las fuentes de emisiones en la construcción de infraestructura vial en Colombia provienen del uso de maquinaria pesada, la producción de materiales como el cemento y el acero, y los procesos logísticos relacionados con el transporte de materiales. Como señala Rodríguez et al. (2018), la producción de cemento es especialmente intensiva en carbono, emitiendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub> debido al proceso de calcinación de piedra caliza. Asimismo, se encontró que el uso de maquinaria pesada, como excavadoras y camiones alimentados por diésel, genera una proporción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al impacto ambiental global de los proyectos de infraestructura vial. En términos de transporte, se observó que las largas distancias recorridas para trasladar materiales hacia los sitios de construcción también generan un alto nivel de emisiones. Este factor, junto con la ineficiencia en las rutas de transporte y el uso de combustibles fósiles, representa un área crítica para la reducción de la huella de carbono.

En cuanto a las prácticas y tecnologías disponibles para reducir la huella de carbono en el sector, la monografía destaca varias iniciativas prometedoras. Entre ellas, el uso de biocombustibles en lugar de diésel tradicional para maquinaria y el transporte de materiales. Acuña et al. (2023) demuestra que la adopción de estrategias sostenibles, como el uso de polvo de roca y biocombustibles, puede reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> al tiempo que mejora la eficiencia energética. Otra tecnología clave mencionada en el estudio es la implementación de pavimentos perpetuos, que, según Polo-Mendoza et al. (2023), no solo reducen las emisiones al disminuir las intervenciones y mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida, sino que también optimizan el uso de materiales y energía. Esta tecnología, junto con el uso de agregados reciclados en la construcción de pavimentos, que permite reducir la demanda de materiales vírgenes y, por ende, las emisiones de CO<sub>2</sub>, representa una oportunidad viable para la sostenibilidad en la construcción vial.

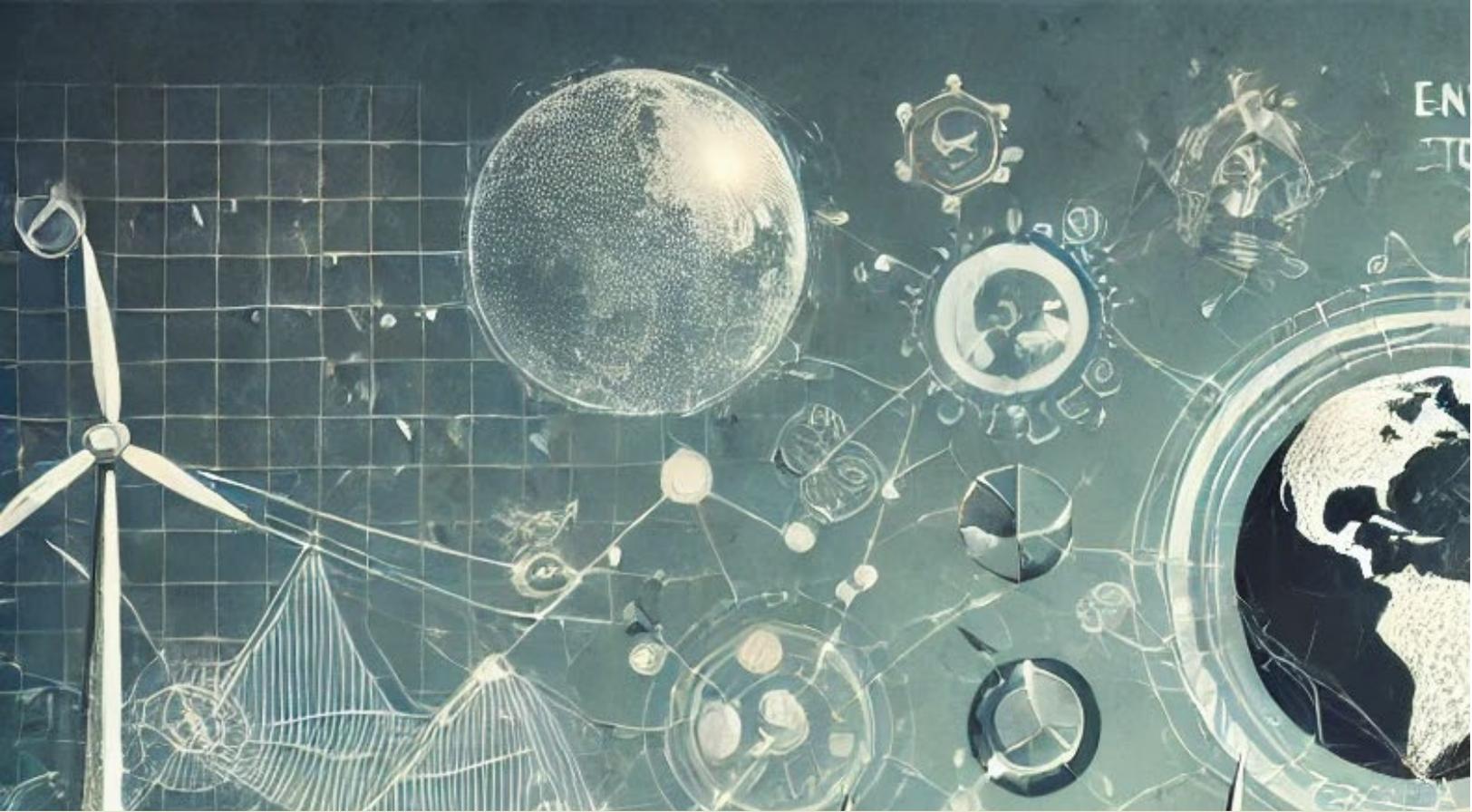
Una de las conclusiones más importantes de la monografía es la identificación de oportunidades clave de mejora para reducir la huella de carbono en la construcción vial. El uso de análisis de ciclo de vida (ACV) ha sido crucial para determinar en qué etapas del proceso constructivo se pueden aplicar estrategias de reducción. Como se destaca en el trabajo, la implementación de ACV permite una evaluación integral de los impactos ambientales desde la producción de materiales hasta la disposición final, ayudando a identificar las áreas donde se puede intervenir para disminuir las emisiones.

En respuesta a la pregunta problema de la monografía, se puede concluir que las oportunidades actuales para reducir la huella de carbono en la construcción de infraestructura vial en Colombia están claramente alineadas con la adopción de tecnologías limpias, el uso de materiales reciclados, la implementación de prácticas más eficientes.

## REFERENCIAS

- Acuña, L. C., Caceres, E. O., Campo, B. C., Bortoluzzi, E. C., Neckel, A., Moreno-Ríos, A. L., ... & Ramos, C. G. (2023). Advancing Sustainability: Effective Strategies for Carbon Footprint Reduction in Seaports across the Colombian Caribbean. *Sustainability*, 15(22), 15819. <http://dx.doi.org.proxy.bidig.areandina.edu.co/10.3390/su152215819>
- Aguilar, J. S., Castillo, E. M., & Guerrero, G. A. O. (2009). Procesos de certificación de proyectos de captura de gases de efecto invernadero (GEI) en los Mercados Internacionales de Carbono. *Gestión y Ambiente*, 12(3), 7-19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169420685001>
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto [Asocreto]. (2018). Impacto ambiental de la producción de concreto y cemento en Colombia. Asocreto.
- Asociación Nacional de Industriales [ANDI]. (2020). Informe de sostenibilidad en el sector industrial. ANDI. <https://www.andi.com.co/uploads/Informe%20ANDI%202020%202021.pdf>
- Araujo, D. L. V., Santos, J., & Martínez-Arguelles, G. (2023). Environmental performance evaluation of warm mix asphalt with recycled concrete aggregate for road pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2), 2064999. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298436.2022.2064999>
- Beltrán Castro, P. E., García Molina, K. B., & Cordero Cabrera, C. J. (2021). Análisis de la huella de carbono en vías de pavimento flexible (asfalto): Vías de segundo orden en la provincia del Azuay. *ConcienciaDigital*, 4(4.1), 81-95. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1927>
- Beltrán Vila, J. E., & Hernández Rojas, L. M. (2023). Estimación de la huella de carbono en el sector de infraestructura vial: Caso de estudio para un corredor vial de 190 Km en la fase de operación y mantenimiento, Colombia. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/25596>
- Bovea, M. D., Cruz-Sotelo, E., Mercante, I. T., Coutinho-Nóbrega, C., & Eljaiek-Ursola, M. (2016). Aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para evaluar el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos en Iberoamérica. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.05.03>
- Cabrera-Madrid, J. A., Escalante-García, J. I., & Castro-Borges, P. (2016). Resistencia a la compresión de concretos con escoria de alto horno. Estado del arte re-visitado. *Revista ALCONPAT*, 6(1), 64-83. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427645284006>
- Cardona Guzman, J. D., Herrera Rodríguez, W., & Ortiz Rico, H. A. (2023). Análisis de sostenibilidad de la vía Pasto Rumichaca [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/55742>
- Chica, L., Villada, J. P., Arcila, J. M., & Restrepo, J. W. (2023). Technical viability and life cycle assessment to excavated soil and CDW blends for hydraulic applications. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 27(4), 1412-1422. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12205-023-1632-5>
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Diario Oficial. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Congreso de Colombia. (2018). Ley 1931 de 2018. Diario Oficial. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/Paginas/plan-nacional-de-desarrollo-2018-2022.aspx>
- García Ochoa, J. A., Quito Rodríguez, J. C., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. [https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=https://repository.ucc.edu.co/items/19b53e71-65ad-48b9-86f4-4dec0af5bflc&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=17070148453645651029&ei=UQEHZ523KtmDy9YPp8Ky6Qc&scisig=AFWwaebs49xaKqsS-5\\_sy70-x-cq](https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://repository.ucc.edu.co/items/19b53e71-65ad-48b9-86f4-4dec0af5bflc&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=17070148453645651029&ei=UQEHZ523KtmDy9YPp8Ky6Qc&scisig=AFWwaebs49xaKqsS-5_sy70-x-cq)
- H2T Consultores. (2009). Huella de Carbono. [http://www.h2tconsultores.com/uploads/8/0/6/6/8066430/brochure\\_h2t\\_hdc.pdf](http://www.h2tconsultores.com/uploads/8/0/6/6/8066430/brochure_h2t_hdc.pdf)
- Hernández, G. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia. *El trimestre económico*, 88(350), 523-550. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i350.857>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2016). Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorciones 2010-2014. IDEAM. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/inventario-nacional-de-emisiones-y-absorciones-de-gases-de-efecto-invernadero-ingei/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva, Switzerland. <https://direct.mit.edu/glep/article-abstract/21/1/108/95085/Intergovernmental-Expert-Consensus-in-the-Making>
- IPCC. (2014). Fifth Assessment Report: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2001/04/doc3d.pdf>
- López-Malest, A., Gabor, M. R., Panait, M., Brezoi, A., & Veres, C. (2024). Green Innovation for Carbon Footprint Reduction in Construction Industry. *Buildings*, 14(2), 374. <http://dx.doi.org.proxy.bidig.areandina.edu.co/10.3390/buildings14020374>

- Martínez-Molina, W., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Hernández-Barrios, H., Lara-Gómez, C., Martínez-Alonso, W., Pérez-Quiroz, J. T., & Bedolla-Arroyo, J. A. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *Revista Alconpat*, 5(3), 235-248. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427643087006>
- Mesa Cantillo, E. M., & Reyes Viviescas, L. P. (2023). Análisis y Diseño de una Alternativa que Permita la Reducción y Compensación de la Huella de Carbono de la Empresa ABC. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/12375>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Colombia ante el cambio climático: Retos y compromisos. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Decreto 926 de 2017. Diario Oficial. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=81936>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/plan-nacional-de-adaptacion-al-cambio-climatico/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 1447 de 2018. Diario Oficial. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC). Bogotá: Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-colombiana-de-desarrollo-bajo-en-carbono-ecdbc/>
- Moya, J. P. A., Salazar, L. G. L., & Alfaro, M. E. (2019). Caso de estudio: Cuantificación de la huella de carbono en la construcción de la carretera La Abundancia-Florencia, San Carlos. *Ambientico*, (270), 45-51. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA676650936&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=1409214X&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E21aa8199&aty=open-web-entry>
- Muthu, S. S. (2014). *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain*. Woodhead Publishing. <https://www.sciencedirect.com/book/9781782421047/assessing-the-environmental-impact-of-textiles-and-the-clothing-supply-chain>
- Osorio-Tejada, J. L., Llera-Sastresa, E., & Scarpellini, S. (2024). Environmental assessment of road freight transport services beyond the tank-to-wheels analysis based on LCA. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 421-451. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-022-02715-7>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2019). Empleo verde y sostenibilidad en la construcción. OIT. <https://www.ilo.org/es/resource/article/que-es-un-empleo-verde>
- Pardo Alvarez, N. S., López Castaño, D. J., & Rico Pérez, M. A. (2022). Inclusión de concretos sostenibles en el cumplimiento de la Resolución 0472 de 2017 y la disminución de emisiones del sector constructor colombiano: Análisis de materiales. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14(1), 76-85. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2422-42002022000100076&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2422-42002022000100076&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- 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. <https://www.redalyc.org/journal/212/21248046009/>
- Polo-Mendoza, R., Mora, O., Duque, J., Turbay, E., Martínez-Arguelles, G., Fuentes, L., ... & Perez, S. (2023). Environmental and economic feasibility of implementing perpetual pavements (PPs) against conventional pavements: A case study of Barranquilla city, Colombia. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02112. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02112>
- Rodríguez, C. J. V., Ortega, G. P. M., Madera, J. C. B., & Cruz, M. J. C. (2023). Evaluation of the Carbon Footprint in the Production of Aggregate Materials for Construction in the Municipality of Toluvejo-Colombia. <https://laccei.org/LACCEI2018-Lima/meta/FP18.html>
- Sandoval Gaviria, D., & Gutiérrez-Fernández, F. (2021). Cálculo de las huellas de carbono y ecológica del destino turístico de Puerto Nariño (Amazonas). *Turismo y Sociedad*, 29. <https://www.redalyc.org/journal/5762/576270071004/>
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (2020). Nationally Determined Contributions. UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>
- Vargas-López, A., Vásquez-Delgado, W., Valencia-Saavedra, W., & de Gutiérrez, R. M. (2022). Caracterización de un concreto geopolimérico fibrorreforzado para su aplicación en elementos constructivos. *Revista UIS ingenierías*, 21(4), 39-52. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553775188004/>
- Vega A, D. L., Santos, J., & Martínez-Arguelles, G. (2022). Life cycle assessment of hot mix asphalt with recycled concrete aggregates for road pavements construction. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(4), 923-936. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1778694>



## **"Innovación para la Sostenibilidad: Del Carbono a la Biodiversidad"**



# SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN VIVIENDAS DE BARRANCABERMEJA

Franco Trillos, Kelly Johana., Gaviria Carvajal, Julián Andrés., Flórez Montesino, Omar Danilo y Meza Naranjo, Carlos Mauricio\*

[julian.gaviria@unipaz.edu.co](mailto:julian.gaviria@unipaz.edu.co), [omar.florez@unipaz.edu.co](mailto:omar.florez@unipaz.edu.co), [carlos.meza@unipaz.edu.co](mailto:carlos.meza@unipaz.edu.co)

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ

\*Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental GIAS-UNIPAZ

## RESUMEN

Actualmente, la energía solar es considerada una fuente de energía renovable. Convirtiéndose en tema de interés social y político a fin de dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la promesa del Gobierno de disminuir un 51% de emisiones de gases que causan el calentamiento global para el año 2030. El incremento en la demanda de energía y las preocupaciones ambientales sobre el uso de fuentes de energía limitadas han despertado interés en opciones energéticas sostenibles. Este trabajo analiza los factores de implementación para utilizar energía solar en hogares en Barrancabermeja. Se buscó en bases de datos académicas para analizar estudios sobre los aspectos técnicos, legales y económicos que ayuden a determinar si estos sistemas cuentan con oportunidad. Donde se identificó que para Instalaciones On grid se requiere contar con la disponibilidad de la red y el tiempo de retorno de inversión sin baterías está entre 4 y 5 años. La implementación de soluciones fotovoltaicas en viviendas en Barrancabermeja es una alternativa viable, además de contribuir al proceso de transición energética del país.

**Palabras claves:** desarrollo sostenible, energía renovable, energía solar.

	CONTENIDO	Pág.
ENERGÍA SOLAR		<a href="#">68</a>
AUTOGENERADORES DE ENERGÍA		<a href="#">70</a>
POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN BARRANCABERMEJA		<a href="#">71</a>
ASPECTOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS		<a href="#">73</a>
ASPECTOS AMBIENTALES		<a href="#">83</a>
ASPECTOS LEGALES		<a href="#">84</a>
ASPECTOS ECONÓMICOS		<a href="#">84</a>
LISTA DE CHEQUEO DE FACTORES PRINCIPALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN VIVIENDAS DE BARRANCABERMEJA		<a href="#">86</a>

## CONTEXTO

En Barrancabermeja, la creciente demanda de energía y las preocupaciones ambientales relacionadas con el uso de fuentes no renovables han incrementado el interés en soluciones sostenibles, como la energía solar fotovoltaica en viviendas residenciales (Alonso, 2024). Aunque esta tecnología representa una alternativa viable, su implementación enfrenta desafíos técnicos, legales y económicos que requieren un análisis detallado.

Desde un punto de vista técnico, la infraestructura eléctrica de muchas viviendas locales necesita adecuaciones significativas para integrar sistemas fotovoltaicos sin comprometer la seguridad ni la eficiencia (Perpiñán, 2023). Esto incluye actualizaciones en cableado, paneles de distribución y componentes eléctricos clave, lo que puede aumentar los costos y la complejidad del proyecto. Además, la calidad de los paneles solares, inversores y baterías es crucial para asegurar la durabilidad y el rendimiento del sistema bajo las condiciones locales (Ramírez, 2024).

Legalmente, la instalación de paneles solares está regulada por normativas como la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 y la Resolución 174 de 2021, que establecen los requisitos técnicos y legales para la autogeneración de energía. Las conexiones a la red eléctrica, los permisos necesarios y la normativa de las empresas energéticas en Barrancabermeja son factores críticos que deben ser gestionados adecuadamente para garantizar la viabilidad del proyecto. Adicionalmente, acuerdos gubernamentales y programas de financiamiento han facilitado el acceso a créditos para personas de bajos recursos, promoviendo la adopción de estas tecnologías sostenibles.

La disposición del espacio también representa un desafío importante. Los techos o estructuras seleccionados deben ser sólidos, tener suficiente exposición al sol y resistir las variaciones climáticas locales que puedan afectar el rendimiento del sistema. Según el Atlas de Radiación Solar de Colombia, Barrancabermeja recibe en promedio 4.5 kWh/m<sup>2</sup> diarios, lo que convierte a la región en un lugar ideal para maximizar la generación de energía solar. Sin embargo, el conocimiento limitado de la tecnología en la comunidad, junto con el alto costo inicial de instalación y la falta de empresas especializadas en la región, son barreras importantes para su adopción. A pesar de estos desafíos, existen oportunidades significativas. La reducción progresiva de los costos de la tecnología solar, los incentivos estatales para mitigar el impacto ambiental y la meta del Gobierno de reducir un 51% de las emisiones de gases contaminantes para 2030 (Ramos, 2021) crean un entorno favorable para la implementación de sistemas fotovoltaicos en Barrancabermeja.

Este proyecto tiene como objetivo identificar las oportunidades y establecer los requisitos necesarios para implementar eficazmente sistemas fotovoltaicos en viviendas locales. A través de la capacitación comunitaria, la promoción de mecanismos de financiamiento accesibles y el fomento de la concientización sobre los beneficios de la energía solar, se busca superar las barreras actuales. Con un enfoque estratégico, se espera contribuir significativamente al desarrollo sostenible de la región y a la transición energética de Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2024).

La instalación de sistemas fotovoltaicos no solo representa una solución innovadora y sostenible, sino que también demanda un enfoque interdisciplinario que abarque aspectos técnicos, normativos y comunitarios. La voluntad académica, ingenieril y tecnológica detrás de este proyecto refuerza su potencial para transformar la sostenibilidad energética de Barrancabermeja. Este artículo explorará los aspectos más representativos del desarrollo técnico, normativo y comunitario necesarios para llevar a cabo esta ambiciosa iniciativa.

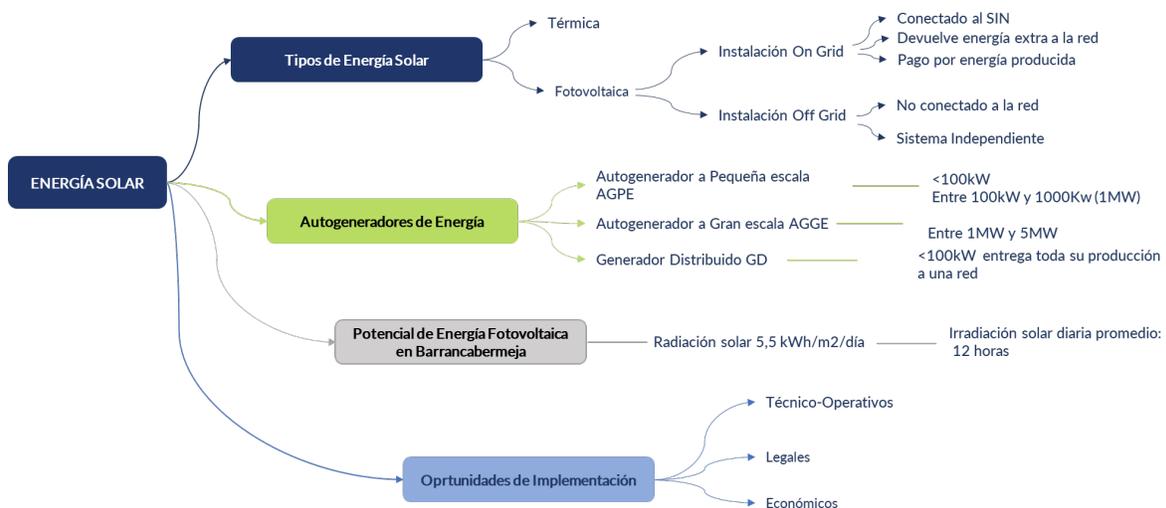
## SISTEMAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN VIVIENDAS

### ENERGÍA SOLAR

Desde hace mucho tiempo, la gente ha usado la energía del sol en nuestro planeta mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el paso de los años. En la actualidad, la energía del Sol se puede aprovechar mediante distintos aparatos como los paneles solares (Medina, 2022). Este trabajo se enfoca en la energía solar, que se considera una fuente de energía limpia. Esta energía ayuda al desarrollo sostenible y a avanzar hacia un cambio en la forma en que obtenemos energía. Hoy en día, la energía del sol captada por paneles solares está contribuyendo significativamente a reducir los gases que causan el efecto invernadero en todo el planeta. Según el más reciente reporte del Programa de energía solar de la AIE, la energía solar que se instaló hasta finales de 2020 ayudó a evitar la emisión de más de 860 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Se espera que para el próximo año se llegue a la cantidad de gigatoneladas (Gt) (ver figura 1).

Mentioning Trends in Solar Panel Uses 2021 - IEA-PVPS, según un estudio, para el año 2030, aproximadamente 100 millones de hogares tendrán paneles solares en sus techos. La energía solar fotovoltaica se produce al convertir la luz del sol en electricidad usando una tecnología basada en un proceso llamado efecto fotoeléctrico. Es un tipo de energía que nunca se agota, no contamina y se puede producir en instalaciones pequeñas para uso personal o en grandes plantas solares (Iberdrola, 2022).

Figura 1. Resumen gráfico.



Fuente: Elaboración propia.

### Energía Solar Térmica

La energía térmica es la que se produce a partir de fuentes que generan calor y pueden transmitir suficiente energía para incendiar un material combustible (Iberdrola, 2022).

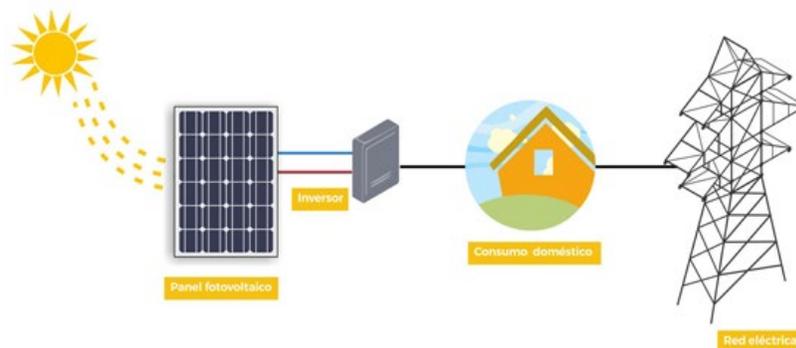
## **Energía Solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica convierte la luz del sol en electricidad utilizando una tecnología que se basa en un efecto llamado fotovoltaico (Iberdrola, 2022). Cuando la luz del sol golpea una parte de una célula solar (que forma los paneles solares), se crea una diferencia de energía eléctrica entre las dos partes. Esto hace que los electrones se muevan de un lado a otro, creando electricidad (Medina, 2021). Probablemente los periodos de mayor consumo energético no coincidan con los de mayor producción solar. Durante estas horas (de noche), las viviendas que tengan implementado sistemas fotovoltaicos requerirán un mecanismo de respaldo, bien sea energía de la red o complemento de baterías que permitan almacenar el exceso de energía generado por los paneles para su posterior uso lo que proporcionará autonomía energética permitiendo usarla cuando más se requiera (durante la noche o días lluviosos o nublados). Básicamente, hay dos tipos de sistemas fotovoltaicos:

### **Instalación On grid**

Los sistemas On Grid devuelven la energía extra a la red eléctrica en lugar de guardarla en baterías. Así, la empresa paga al cliente por la energía que produce (Enel X, s. f.) (ver figura 2).

Figura 2. Instalación On grid



Fuente: Elaboración propia.

### **Instalación off-grid**

Un sistema Off Grid es un sistema de energía solar independiente que no está conectado a la red eléctrica. Este sistema tiene paneles solares, un dispositivo para controlar la carga, un aparato para transformar la energía y baterías solares. Con este equipo podrás generar tu propia electricidad sin depender de la red eléctrica (Enel X, s. f.).

Actualmente, agregar baterías a su sistema solar puede hacer que el costo de la instalación aumente entre un 50% y un 80%. Las baterías se cargarían con la energía generada por los paneles solares, aunque la cantidad variará según el clima. Además, el tiempo para pagar el préstamo es de 10 a 12 años, dependiendo del tipo de tecnología de la batería que se elija. Para saber si una batería es rentable, es importante tener en cuenta cuánto cuesta, cuánta energía puede almacenar, cuánto tiempo dura y cuántas veces se puede usar (ver figura 3).

Figura 3. Instalación Off grid



Fuente: Elaboración propia.

### **AUTOGENERADORES DE ENERGÍA**

En Colombia, la resolución CREG 174 de 2021 establece normas para controlar la autogeneración a pequeña escala (AGPE) y la generación distribuida (GD) en el sistema eléctrico del país. Esta regla indica cómo conectar de manera rápida y sencilla a la red eléctrica sistemas de generación de energía pequeños con una capacidad de hasta 5MW.

Gracias a esta elección, los usuarios de AGPE podrán producir su propia energía, reducir su dependencia de las redes eléctricas y vender la energía adicional que generen al sistema nacional. Pueden hacerlo a través de la compañía que les provee electricidad o, si no, a través de la empresa asociada al OR. El dinero que ganes con la venta se restará de tu factura de energía. Si ganas más de lo que debes en la factura, recibirás la diferencia en tu cuenta bancaria cada mes (ver tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de Autogeneradores y Generadores Distribuidos según Capacidad Instalada y Definición

Tipo	Definición	Capacidad Instalada o nominal
<b>Autogenerador a Pequeña Escala -AGPE-</b> 	Es cuando un usuario decide producir energía eléctrica, principalmente para atender sus propias necesidades y el tamaño de su instalación de generación es inferior a 1.000 kW.	Los AGPE se dividen en dos grupos: -Inferior a 100kW. -Entre 100kW y 1000kW (1MW).
<b>Autogenerador de Gran Escala - AGGE-</b> 	Persona natural o jurídica que produce energía principalmente para atender sus propias necesidades, y su potencia instalada es mayor a 1 mw (generalmente grandes comercios e industrias).	Autogenerador con capacidad instalada o nominal superior al límite definido en el artículo primero de la Resolución UPME 281 de 2015, o aquella que la modifique o sustituya. Son aquellos que tienen potencias de generación entre 1 mw y 5 mw.
<b>Generador Distribuido -GD-</b> 	Persona jurídica que produce energía cerca de los centros de consumo, que se encuentra conectado al sistema de distribución local (SDL).	Tiene una potencia instalada menor o igual a 1 MW.

Fuente: Resolución 174 de 2021, Resolución UPME 281 de 2015.

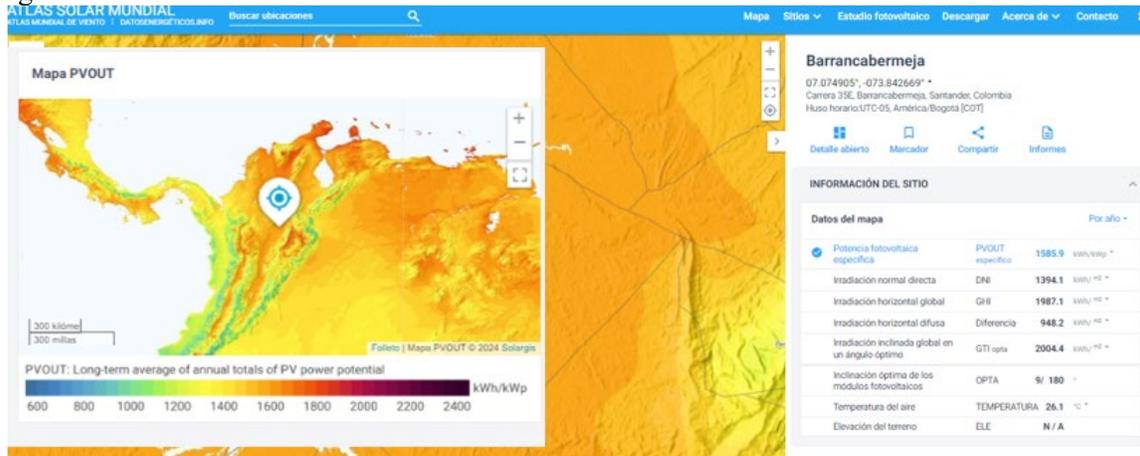
## POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN BARRANCABERMEJA

El área de Barrancabermeja es conocida en todo el país por ser ideal para producir energía solar, gracias a su ubicación y clima. Esto se puede ver en los informes sobre la cantidad de energía solar generada en la zona.

### Ubicación

La localización de la vivienda tomada como estudio de referencia ubicada en Barrancabermeja con coordenadas (7.061709°, -73.851932°) (ver figura 4).

Figura 4. Ubicación



Fuente: Atlas Solar Mundial (S.f.).

### Información de estudio recurso solar en Barrancabermeja

En la figura 5 se evidencia la información de estudio del recurso solar en el distrito de Barrancabermeja.

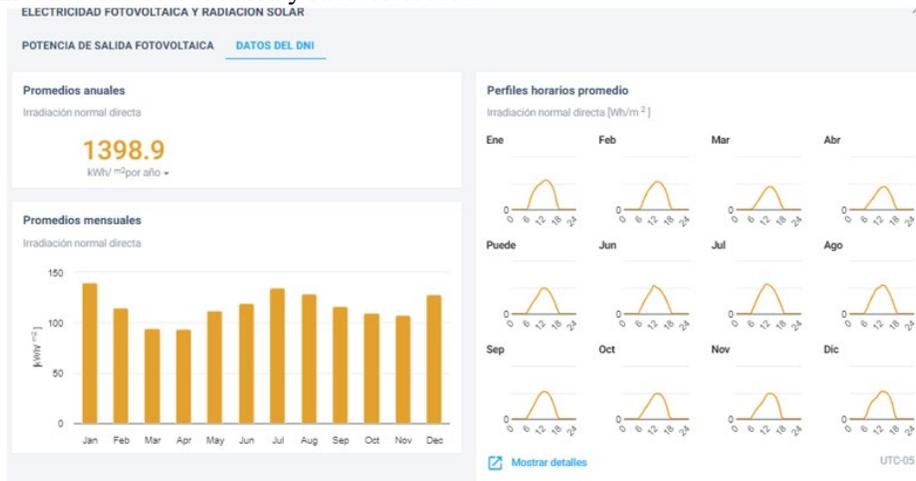
Figura 5. Información del sitio

INFORMACIÓN DEL SITIO		
Datos del mapa		
Potencia fotovoltaica específica	PVOUT específico	1585.9 kWh/kWp
Irradiación normal directa	DNI	1394.1 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación horizontal global	GHI	1987.1 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación horizontal difusa	Diferencia	948.2 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación inclinada global en un ángulo óptimo	GTI opta	2004.4 kWh/m <sup>2</sup>
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	OPTA	9/ 180 °
Temperatura del aire	TEMPERATURA	26.1 °C
Elevación del terreno	ELE	N / A

Fuente: Datos del DNI (S.f.).

La irradiación directa normal DNI que llega a la vivienda de referencia ubicada en Barrancabermeja con coordenadas (7.061709°, -73.851932°) procedente del disco solar en relación a la dirección es de 1394.1 kWh/kw/m2. Esta energía solar influye en el rendimiento y es el principal criterio de selección del lugar de ubicación de los paneles solares (ver figura 6).

Figura 6. Electricidad fotovoltaica y radiación solar.



Fuente: Datos del DNI (S.f.).

Tabla 1. Perfiles horarios promedio.

**Perfiles horarios promedio**  
Irradiación normal directa [Wh/m<sup>2</sup>]

	Ene	Feb	Mar	Abr	Puede	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1												
1-2												
2-3												
3-4												
4-5												
5-6												
6-7	50	31	21	41	65	92	96	67	66	59	68	66
7-8	225	159	98	111	149	189	205	177	156	135	154	212
8-9	340	273	162	178	232	286	319	290	248	211	220	308
9-10	422	365	239	240	300	367	420	389	346	287	277	367
10-11	469	429	321	317	380	441	495	472	442	369	347	411
11-12	506	491	390	391	475	538	565	502	501	449	440	480
12-13	552	531	430	424	488	506	552	544	522	484	484	524
13-14	558	524	431	426	472	475	517	535	511	479	483	518
14-15	523	491	389	395	417	418	457	465	459	449	456	491
15-16	452	418	308	314	326	334	358	368	353	362	378	413
16-17	325	298	195	206	218	232	246	242	225	227	238	281
17-18	95	105	61	65	80	105	118	97	57	37	33	55
18-19												
19-20												
20-21												
21-22												
22-23												
23-24												
Suma	4.517	4.116	3.035	3.116	3.601	3.993	4.336	4.149	3.885	3.548	3.580	4.127

Fuente: Datos DNI (S.f.).

En la tabla anterior se muestran los niveles de radiación solar promedio por hora en Barrancabermeja, representados con diferentes colores. El color verde representa los promedios horarios más bajos, mientras que el amarillo y naranja representan los más altos, respectivamente (Solargis, s. f.).

**ASPECTOS PRINCIPALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Los aspectos principales para tener en cuenta en la implementación de los sistemas fotovoltaicos son:

**ASPECTOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS**

**Determinación de cantidad de paneles Solares**

Los aspectos más importantes para decidir cuántos paneles solares instalar son: cuánta energía se consume, cuándo se usa más energía en la casa y la potencia de los paneles solares.

También es importante pensar si se instalarán paneles solares con baterías o sin ellas, y asegurarse de que el sistema esté dimensionado correctamente. Para hacerlo, puedes optar por conectarlo a la corriente eléctrica con o sin baterías para guardar energía. Hay varias páginas web donde puedes hacer cálculos para saber cuántos paneles solares necesitas, cuánta área se necesita, cuánto costará la inversión y cuánto podrías ahorrar cada año (ver figura 7 y 8).

Figura 7. Resultados del sistema.



Fuente: Emergente Energía Sostenible. (s. f.). Cotiza tu sistema de energía solar fotovoltaica.

Figura 8. Ejemplo calculo cantidad de paneles.

**Ejemplo:**

Consumo Energía Mes: 525kWh → 17,5kW día  
 Potencial nominal Panel mes: 665W  
 Producción de Energía mes: 75kWh → 2,5kWh día  
 Radiación solar: 5,5 kWh/m2/día

**Cantidad de Paneles:** Consumo mensual de energía/Producción de energía por panel

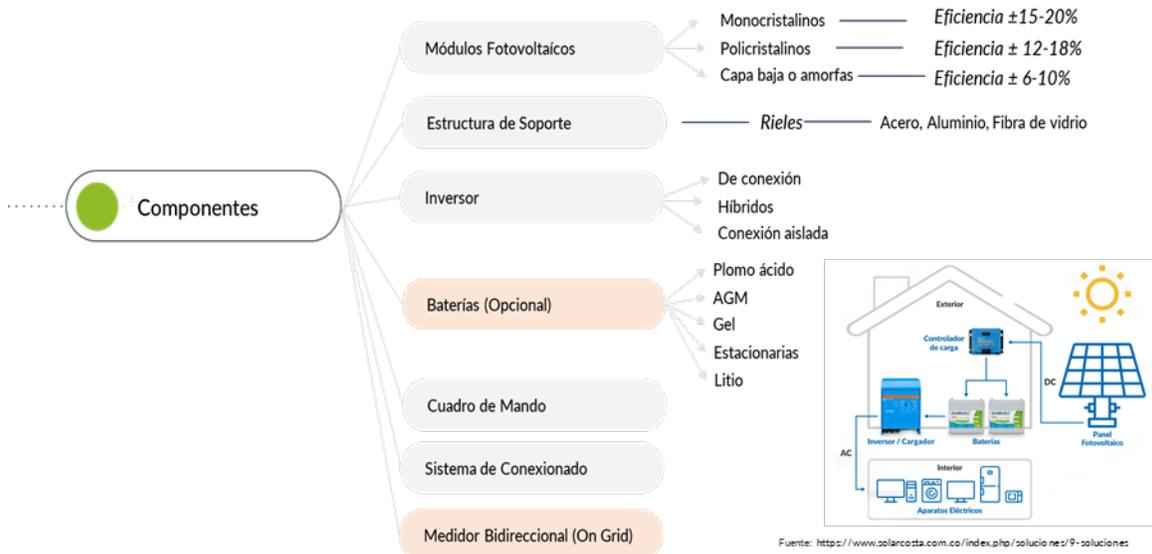
$$525 \text{ kW/mes} \div 75 \text{ kW/mes/panel} \approx 7 \text{ paneles}$$

Fuente: Elaboración Propia.

**Componentes del Sistema fotovoltaico**

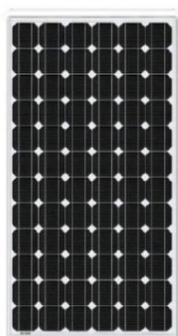
Para el montaje del sistema de energía fotovoltaica requiere los siguientes componentes (ver figura 9 y tabla 2):

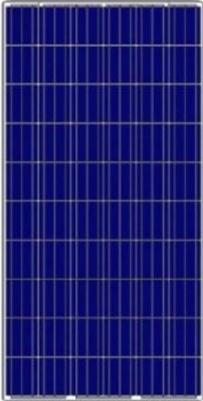
Figura 9. componentes del sistema.

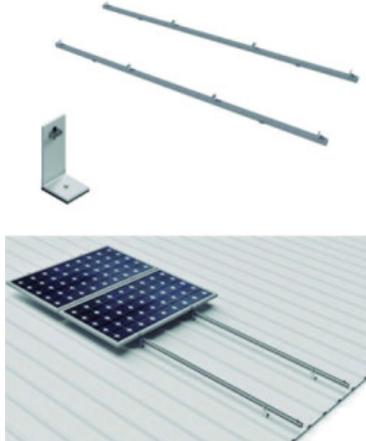


Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Componentes Sistema fotovoltaico.

Componentes	Tipos	Imagen
<b>Módulos fotovoltaicos (Paneles solares)</b>	<p>Un sistema fotovoltaico absorbe la energía solar mediante la utilización de elementos especiales denominados módulos fotovoltaicos, que tienen la capacidad de generar electricidad cuando reciben la luz solar.</p> <p><b>Las placas solares de monocrystalino:</b> Al ser producidos en silicio de alta pureza, pueden brindar los índices de eficiencia más elevados que se encuentran en el mercado en la actualidad, que oscilan entre el 15% y el 20%. Principales beneficios: gran potencia, extensa durabilidad y su tamaño, ideal para alojamientos residenciales.</p>	 <p>MONOCRISTALINOS</p>

Componentes	Tipos	Imagen
	<p><b>Paneles solares de cristal policristalino:</b>                      Estos paneles solares, reconocidos por su tonalidad azul, se producen con silicio en bruto. Su costo es inferior al de las anteriores, sin embargo, su eficiencia también es inferior, alrededor del 15%, pese a que su potencia es parecida. Sin embargo, requieren más espacio y son más susceptibles a la exposición a temperaturas elevadas, por lo que no son una alternativa muy aconsejable para climas extremadamente calurosos.</p> <p><b>Placas solares de capa baja o amorfas:</b>                      Estas clases de placas solares se fabrican con materiales como el silicio amorfo, el telururo de cadmio o el galio, que poseen características fotovoltaicas. Así, se logra producir un panel flexible y de peso reducido. Su eficiencia es inferior a la de las placas fotovoltaicas tradicionales, oscilando entre un 7 y un 10%, su durabilidad es reducida y demandan un espacio considerablemente mayor. No obstante, su precio es más asequible, lo que lo hace frecuente en grandes infraestructuras, como industrias o espacios públicos.</p> <p>Tomar referencia a <a href="https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/">https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/</a></p>	 <p>POLICRISTALINOS</p>  <p>CAPA FINA (Amorfos)</p>

Componentes	Tipos	Imagen
<p><b>Estructuras de soporte de los módulos fotovoltaicos</b></p>	<p>Estas estructuras sujetan los módulos al techo, asegurándolos. Para las cubiertas planas, hay estructuras de apoyo que también tienen la capacidad de cambiar la dirección de los paneles, mejorando su exposición al desplazarlos hacia los rayos solares.</p>	
<p><b>Convertidor (inversor)</b></p>	<p>Se trata del aparato electrónico que convierte la energía generada por los módulos (conocida como corriente continua - CC) en la clase de energía que emplean los usuarios de viviendas o industrias (conocida como corriente alterna - CA). Para incrementar la protección del sistema, los convertidores también cuentan con mecanismos de resguardo que los bloquean en caso de interrupciones de energía o variaciones en la red.</p> <p>Se pueden dividir en tres grupos principales: inversores para conectar a la red eléctrica, inversores híbridos e inversores para sistemas aislados.</p> <p><b>Inversores de conexión:</b> convierten la energía de los paneles solares en corriente eléctrica que se puede usar en casa y también devolver a la red la energía extra. En este tipo de sistemas, la energía no se puede almacenar y debe ser usada en el momento.</p>	

Componentes	Tipos	Imagen
	<p><b>Inversores híbridos:</b> son como los inversores de conexión a red, pero también tienen baterías para almacenar la energía extra y usarla más adelante.</p> <p><b>Inversor de conexión aislada:</b> están diseñados para funcionar en hogares que no están vinculados a la red eléctrica, de manera que la única fuente de energía que la vivienda posee es la que los paneles solares le suministran. En estas construcciones, las baterías juegan un papel crucial ya que facilitarán la independencia energética de la vivienda tanto durante la noche como durante los días con menor radiación solar.</p> <p>Referencia:  <a href="https://autosolar.es/aspectos-técnicos/qué-clases-de-inversores-fotovoltaicos-se-presentan">https://autosolar.es/aspectos-técnicos/qué-clases-de-inversores-fotovoltaicos-se-presentan</a></p>	
<p><b>Batería</b></p>	<p>Es un sistema que guarda la energía eléctrica que no se usa en las baterías de la casa. Si no tienes un sistema de almacenamiento, el exceso de energía puede ser enviado directamente a la red eléctrica o, a través de un dispositivo especial, evitar que los paneles solares generen más energía de la necesaria. Esto se logra ajustando la potencia de los paneles mediante un dispositivo llamado "inyección cero" que actúa sobre su funcionamiento.</p>	

Componentes	Tipos	Imagen
	<p>Hay varios tipos de baterías solares que se pueden distinguir según la tecnología con la que están hechas:</p> <p><b>Baterías de plomo ácido abierto:</b> Tienen seis partes separadas pero unidas en fila que están sumergidas en un líquido llamado ácido sulfúrico. Las piezas de la batería tienen electrodos con carga positiva y negativa que se van intercalando dentro de la batería. Este tipo de batería se usan en lugares apartados porque son muy eficientes y económicas.</p> <p><b>Baterías AGM:</b> AGM es una tecnología que permite que las placas de plomo de la batería absorban el ácido de manera más rápida y eficiente. Una de las cosas más importantes de estas baterías es que no necesitan ser cuidadas debido a que están selladas, por lo que es más fácil llevarlas de un lugar a otro. Pueden resistir muchos ciclos de carga, por lo que son ideales para lugares que requieren mucho de ellas. También son buenas para caravanas ya que pueden usarse para arrancar el motor. Tienen una vida larga, incluso si se usan mucho, funcionan muy bien y se pueden recargar.</p> <p><b>Baterías de gel:</b> Estas pilas tienen un líquido especial y al estar selladas no producen gases peligrosos, por lo que se pueden usar en lugares con poca circulación de aire. Puede usarse durante mucho tiempo con hasta 800 ciclos de vida, lo que la convierte en una</p>	 <p>The image shows two Tensite solar batteries. The top one is a large, black, rectangular battery with 'Tensite' written on it. The bottom one is a smaller, red and white battery, also with 'Tensite' branding.</p>

Componentes	Tipos	Imagen
	<p>batería muy resistente. Además, como la batería está completamente cerrada, no necesita mantenimiento porque no hay fugas de líquido y es más fácil de cuidar. Las baterías de gel son ideales para usar en instalaciones pequeñas y medianas que requieren una batería eficiente y con un rendimiento excepcional.</p> <p><b>Baterías estacionarias:</b> Estas baterías se mantienen cargadas todo el tiempo. Tienen un dispositivo que controla la energía que se usa y recarga la batería cuando se descarga. Así, la batería se descarga raramente. En las baterías estacionarias hay dos tipos: las OPzV, que no necesitan mantenimiento, y las OPzS, que requieren verificar el nivel de ácido regularmente.</p> <p>Además, las baterías estacionarias son muy útiles en sistemas de energía solar. Tienen una duración larga y sus periodos de uso intenso son muy efectivos para cualquier necesidad de energía.</p> <p><b>Batería de litio:</b> Las pilas de litio se cargan más rápido que otros tipos, tienen más energía en menos espacio y duran más tiempo. No retienen memoria, por lo que se pueden descargar completamente o parcialmente sin dañar la batería. Las baterías de litio son diferentes a otros tipos de baterías en su aspecto físico. Tienen más duración de energía y son más ligeras, lo que las hace</p>	 <p>The image column contains three photographs of different battery types. At the top is a large, grey, rectangular Ultracell battery with a handle on top and technical specifications printed on its side. In the middle is a smaller, white, rectangular Tensite battery with red and blue terminals at the top. At the bottom is a black, rack-mounted battery unit with a digital display and several ports on its front panel.</p>

Componentes	Tipos	Imagen
	<p>fáciles de transportar. No necesita ser cuidado y no produce gases, por lo que se pueden colocar en un lugar sin aire. Se usan mucho en sistemas solares para empresas, pero cada vez más también en hogares.</p> <p>Fuente: <a href="https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/tipos-baterias-solares">https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/tipos-baterias-solares</a></p>	
<b>Cuadro de mando y protección</b>	<p>Aquí están los aparatos que protegen la electricidad, como los interruptores diferenciales o los disyuntores. Para saber cuánta energía solar produce y cuánta energía consume una casa, hay que instalar un medidor de energía. Es un aparato que calcula cuánta energía se consume y se genera. Se habla con la persona que invierte para controlar la energía de acuerdo a lo que queremos.</p> <p>También se deben incluir los dispositivos de seguridad necesarios en un sistema solar, como un interruptor diferencial de tipo A y un interruptor de circuito para la corriente alterna, y fusibles y protectores contra sobretensiones para la corriente continua.</p>	
<b>Sistema de Conexión</b>	Conectores, accesorios y Cableado de conexión solar.	

Fuente: Elaboración Propia.

### **Infraestructura**

La estructura física de la vivienda es fundamental para la instalación de paneles solares, ya que debe cumplir con ciertos requisitos para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema. A continuación, se relaciona algunos aspectos clave.

Tabla 3. Elementos de infraestructura para instalación de paneles

<b>Techo</b>	Considerar el tamaño de cada módulo que dependerá del tipo de panel solar que se vaya a instalar.
<b>Estructura del techo</b>	Debe ser capaz de soportar el peso de los paneles solares y resistir condiciones climáticas adversas.
<b>Orientación</b>	El techo debe estar orientado hacia el norte o sur (en el hemisferio norte) para maximizar la exposición solar.
<b>Acceso</b>	Debe haber un acceso seguro y fácil para el mantenimiento y reparación de los paneles.
<b>Ventilación</b>	Debe haber una adecuada ventilación para evitar el sobrecalentamiento de los paneles.

Fuente: Elaboración Propia

**Trámites administrativos para conexión AGPE**

Para instalar paneles solares en viviendas en Barrancabermeja, se necesitan los siguientes tramites y documentos (ver tabla 4):

Tabla 4. Permisos.

Proceso de conexión para AGPE en la empresa de servicios públicos										
1. Trámite inicial										
<p><b>Verificar disponibilidad de la red</b></p>	<p>Para consultar la disponibilidad de la Red Eléctrica a la cual desea conectarse según los estándares técnicos definidos en el artículo 6 de la resolución CREG 174, ingrese al vinculo <a href="https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/tramites-y-servicios-hogar/autogeneracion">https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/tramites-y-servicios-hogar/autogeneracion</a> en el menú Mapa de disponibilidad de red y diligencia el número de la cuenta sin incluir el guion (-) ni el dígito y/o letra que aparecen después. Si consulta por el número de transformador no tenga en cuenta el cero (0) inicial, finalmente pulsa clic en el botón buscar.</p>  <p>Fuente: <a href="https://api-essa-electrosoftware.xyz/api/v1/visor/">https://api-essa-electrosoftware.xyz/api/v1/visor/</a></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">ESTÁNDARES TÉCNICOS PARA APROXIMACIÓN DE DISPONIBILIDAD</th> </tr> <tr> <th>Parámetro 1</th> <th>Parámetro 2</th> <th>Parámetro 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la potencia instalada de los AGPE y GD en un mismo circuito de nivel de tensión S debe ser menor al 50% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde solicita el punto de conexión.</small></p> </td> <td> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por todos los AGPE y GD sin almacenamiento debe ser al menos del 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado</small></p> </td> <td> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por AGPE y GD (con almacenamiento) debe ser menor al 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado en el periodo 6:00 a.m. y las 6:00 p.m.</small></p> </td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: <a href="https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/tramites-y-servicios-hogar/autogeneracion#Mapa-de-disponibilidad-de-red-1462">https://www.essa.com.co/site/clientes/hogar/tramites-y-servicios-hogar/autogeneracion#Mapa-de-disponibilidad-de-red-1462</a></p>	ESTÁNDARES TÉCNICOS PARA APROXIMACIÓN DE DISPONIBILIDAD			Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la potencia instalada de los AGPE y GD en un mismo circuito de nivel de tensión S debe ser menor al 50% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde solicita el punto de conexión.</small></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por todos los AGPE y GD sin almacenamiento debe ser al menos del 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado</small></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por AGPE y GD (con almacenamiento) debe ser menor al 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado en el periodo 6:00 a.m. y las 6:00 p.m.</small></p>
ESTÁNDARES TÉCNICOS PARA APROXIMACIÓN DE DISPONIBILIDAD										
Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la potencia instalada de los AGPE y GD en un mismo circuito de nivel de tensión S debe ser menor al 50% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde solicita el punto de conexión.</small></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por todos los AGPE y GD sin almacenamiento debe ser al menos del 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado</small></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> <div style="width: 33%;"></div> </div> <p>Igual o inferior al 30%</p> <p>Entre 30% y 40% incluido</p> <p>Entre 40% y 50% incluido</p> <p>Superior al 50%</p> <p><small>La suma de la energía suministrada al transformador ESSA en 1 hora por AGPE y GD (con almacenamiento) debe ser menor al 50% de la demanda mínima horaria del año anterior del transformador evaluado en el periodo 6:00 a.m. y las 6:00 p.m.</small></p>								

<b>Diligenciar el formulario de solicitud de conexión simplificada</b>	Diligenciar el Formulario de conexión simplificada: Si es un cliente que ya cuenta con el servicio de energía, ubicar en la factura el número de cuenta. Si no es cliente de ESSA, se debe identificar el número de transformador más cercano.
<b>Documentos anexos a la solicitud</b>	De acuerdo con la Resolución CREG 174 de 2021 y el RETIE se debe anexar los siguientes documentos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memorias de cálculo y selección del sistema de medida.</li> <li>• Certificado de capacitación o experiencia en la instalación tipo.</li> <li>• Consulta de disponibilidad de red.</li> <li>• Certificado de conformidad de inversores.</li> <li>• Esquema de protecciones de acuerdo al CNO 1522 y esquema de conexión a tierra.</li> <li>• Documento con distancias de seguridad.</li> <li>• El usuario que no exporte energía a la red deberá incluir manual de elemento que limite la inyección</li> </ul>
<b>2. Pruebas de Conexión</b>	
<b>Solicitud de Visita de pruebas</b>	Cuando el solicitante esté listo para entrar a operar, se deberá realizar la solicitud de entrada en operación al OR mediante el sistema de trámite en línea. En el siguiente formulario: <a href="https://www.essa.com.co/site/serviciosdigitales">https://www.essa.com.co/site/serviciosdigitales</a>
<b>Documentos en las pruebas de conexión</b>	En la visita se debe aportar la siguiente documentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de medida debidamente legalizado (Cuando aplique)</li> <li>• Dictamen de inspección RETIE</li> <li>• Certificados de calibración y parametrización de ESSA del sistema de medición.</li> <li>• Certificados de conformidad de producto RETIE de todos los equipos utilizados en la conexión (paneles fotovoltaicos, inversor, conductores, ducterías, cajas, protecciones, etc)</li> <li>• Norma IEC 61215 y/o IEC 61730, para los paneles fotovoltaicos, norma UL 4703 o equivalente para los cables del sistema fotovoltaico. UL 6703 o equivalente y para el para el inversor el certificado de conformidad con la norma IEC 62109, UL 1741, IEC 61727. Anti-isla UL 1741 ó IEEE 1547, IEC 62116.</li> <li>• Certificados de calibración y parametrización de ESSA del sistema de medición.</li> </ul> <p><b>Nota:</b> Si en la documentación o pruebas realizadas sobre la instalación se presenta alguna inconsistencia, se programará una nueva visita en los siete (7) días hábiles siguientes, y si se requieren visitas adicionales, las mismas serán a costo del cliente. El costo por la tercera visita de legalización AGPE se define según los cargos asociados a la conexión de usuarios regulados CREG 225 de 1997, para 2022 se establece así: Urbano: \$ 149.164 – Rural: \$ 208.066.</p>
<b>3. Conexión</b>	
Una vez aprobada visita de pruebas, se realizará la puesta en servicio y entrada en operación del AGPE y se realizará el cambio de tarifa en caso de que decida entregar excedentes.	
<b>4. Registro de proveedor para pago de excedentes</b>	
Enviar al correo <a href="mailto:autogeneradores@essa.com.co">autogeneradores@essa.com.co</a> la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato Matricula de terceros. (Enviado en la carta de aprobación de la solicitud de conexión)</li> <li>• RUT o cédula.</li> <li>• Certificación bancaria (con vigencia inferior a 30 días en el cual conste el titular de la cuenta, número de cuenta, tipo de cuenta y documento de identificación).</li> </ul>	

Fuente: Cartilla Usuario Autogeneradores y Generadores Distribuidos ESSA

### **Mantenimiento**

Las instalaciones generadoras de energía requieren un mantenimiento periódico para conservar todas las funcionalidades. Normalmente se realizan mantenimientos preventivos anuales. Que consisten en revisiones de conexiones, cableados, anclajes, comprobación del estado de placas solares y baterías si cuenta con ellas el sistema.

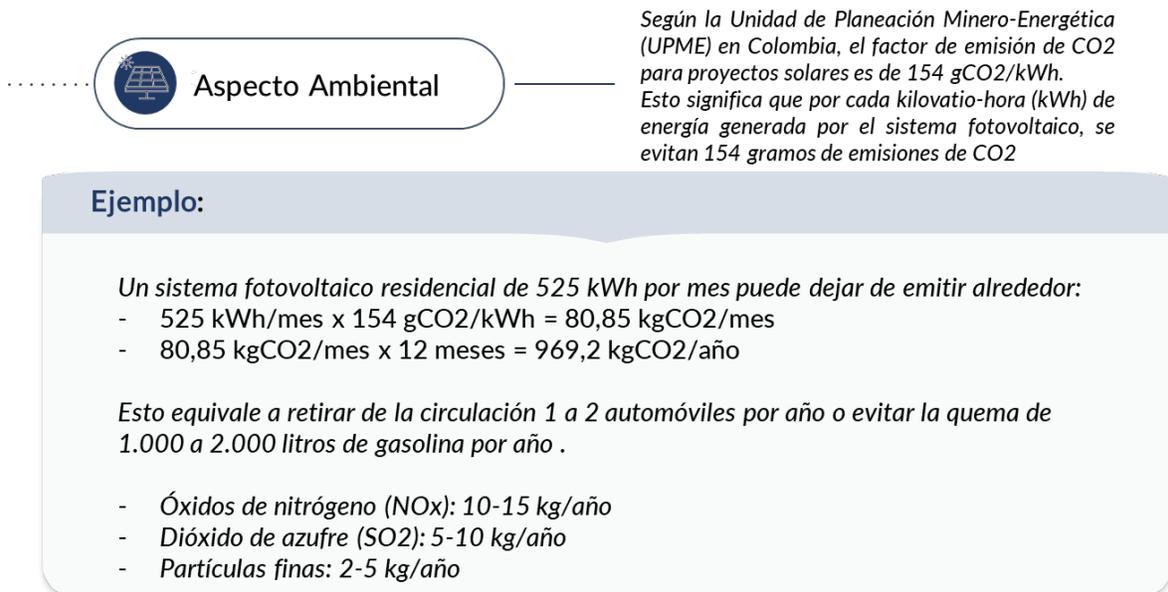
### **Vida útil y garantías del sistema**

Los componentes principales de los sistemas fotovoltaicos, tales como Paneles, Inversores y baterías. Cuentan con vida útil y garantías de manera independiente y a conformidad de la tecnología, referencias y marcas usadas. Los paneles solares suelen producir energía de manera garantizada durante 25 a 30 años. Pero la mayoría de los paneles solares siguen generando electricidad después de este tiempo, aunque su potencia disminuye. La duración de las garantías de los paneles solares varía de 20 a 30 años. La vida media de los inversores es de 15 a 20 años y garantía oscila desde 5 hasta 15 años. Con relación a las baterías la vida útil va desde 3 a 5 años o hasta 20 años su corresponden a baterías de litio. La garantía puede estar de 3 a 5 años.

### **ASPECTOS AMBIENTALES**

En general, se calcula que cada unidad de electricidad producida por energía solar y equivalente a un megavatio-hora (MWh) evita la emisión de alrededor de 500 kilogramos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (ver figura 10).

Figura 10. Reducción de emisiones.



Fuente: Elaboración Propia.

## ASPECTOS LEGALES

El gobierno ha creado normas para poner paneles solares, a cargo de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas). También ha creado normas para regular la instalación de redes eléctricas en hogares, negocios e industrias (ver tabla 5).

Tabla 5. Legislación

Legislación	Descripción
<b>Ley 1715 de 2014</b>	Establece un marco legal que tiene como objetivo principal promover el uso de fuentes de energía renovables en Colombia y que busca impulsar la transición energética hacia un modelo más sostenible, diversificado y amigable con el medio ambiente.
<b>Decreto 348 de 2017</b>	El cual adiciona al Decreto 1073 de 2015 la gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala. Este decreto establece lineamientos de política pública para promover el uso eficiente de la energía y fomentar la autogeneración de energía a pequeña escala, permitiendo a los usuarios entregar excedentes de energía a la red y recibir compensaciones por ello.
<b>Decreto 030 de 2018</b>	Establece las condiciones y procedimientos para la comercialización de energía eléctrica generada por sistemas de autogeneración a pequeña escala, como paneles solares o turbinas eólicas, conectados a la red eléctrica.
<b>Resolución 174 de 2021</b>	Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.
<b>Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE</b>	Certificación del Sistema fotovoltaico.
<b>NORMA TÉCNICA NTC 2050</b>	Código eléctrico colombiano.

Fuente: Elaboración Propia

### *Perspectivas Futuras*

En 2024, tres entidades se unieron para apoyar la instalación de paneles solares en casas a través de préstamos para renovaciones. Las entidades son el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y el Fondo Nacional del Ahorro. Así, el Gobierno está promoviendo el uso de energías limpias y duraderas en hogares de bajos ingresos.

## ASPECTOS ECONÓMICOS

Los gastos al principio siguen siendo un problema grande para las familias con ingresos bajos y medios. La obtención de dinero sigue siendo un obstáculo; la energía convencional tiene varias formas de financiamiento y pago por adelantado.

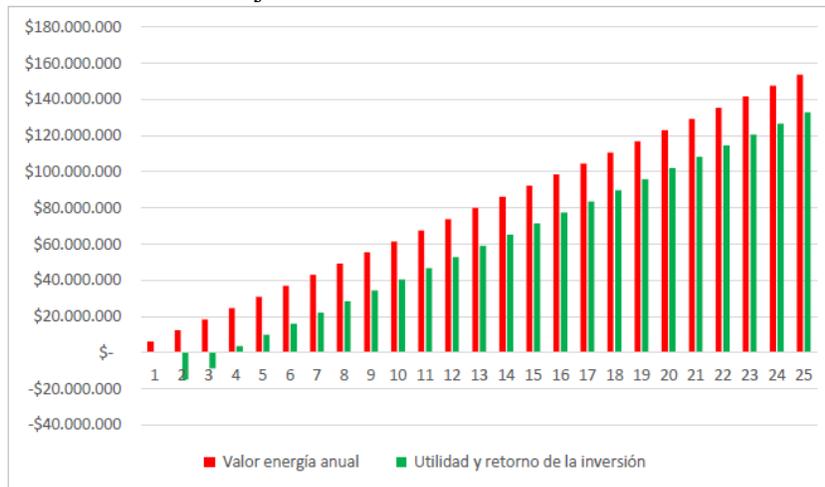
### *Costo Inicial*

El costo de poner paneles solares en su casa variará según cuánto quiera invertir. Esto también afectará la decisión de comprar paneles solares con diferentes materiales o tecnologías, y si es conveniente agregar una batería al sistema o no.

### Retorno de Inversión

Es importante calcular cuánto tiempo se tardará en recuperar el dinero invertido a través de los ingresos generados por esa inversión. Calcular el período de recuperación de inversión consiste en dividir la cantidad de dinero invertida inicialmente entre los beneficios netos que produce el proyecto o activo en un cierto tiempo (ver figura 11).

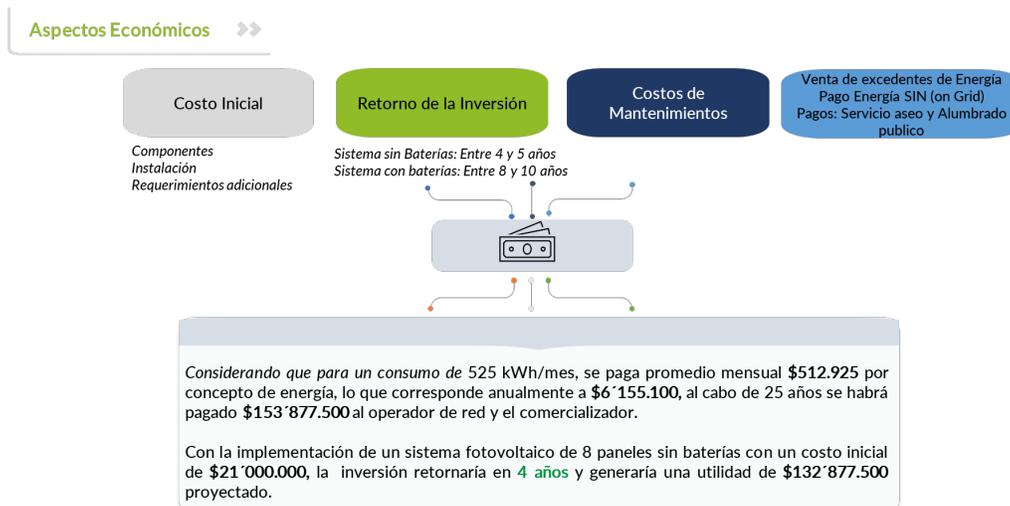
Figura 11. PRI: Inversión inicial/flujo de efectivo



Fuente: Elaboración Propia

Como se ilustra en la figura, como ejemplo se toma en promedio mensual de pago \$512.951 concepto de energía, lo que representaría al año \$6'155.100, para dentro de veinticinco años se habrá pagado \$153'877.500 al operador de red y comercializador de energía. La adopción de sistemas fotovoltaico la inversión se retornará en 4 años. Lo anterior, sin contar los incrementos del valor de la energía por kWh a lo largo del tiempo, inflación anual (ver figura 12).

Figura 12. Consideraciones económicas.



Fuente: Elaboración Propia

**Venta de excedentes de energía**

La energía que no uses del sistema solar se venderá a la red eléctrica y se descontará de tu factura de electricidad. Si al final del mes usted tiene energía no consumida, la compañía eléctrica le pagará por esa cantidad de energía, según lo indica la Resolución 030 de 2018 de la CREG.

Cuando se envía más energía de la que se recibe, se pagará por los excedentes al precio completo, descontando los costos de comercialización. Por lo general, equivale alrededor del 90% del precio habitual. Cuando se exporta más energía de la que se importa, se paga una tarifa que equivale al 35% de la tarifa habitual

### **LISTA DE CHEQUEO DE FACTORES PRINCIPALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN VIVIENDAS DE BARRANCABERMEJA**

Para determinar las oportunidades de implementación de un sistema fotovoltaico en viviendas en Barrancabermeja se propone una lista de chequeo (ver tabla 6).

Tabla 6. Implementación de sistemas fotovoltaicos

Consumo de energía mes (Kw/h):			
	Si	No	Observaciones
<b>ASPECTOS TECNICOS Y OPERATIVOS</b>			
¿La vivienda cuenta con servicio de energía eléctrica?			Si la respuesta es no, el sistema a implementar deberá ser Off Grid (Sin conexión a la red)
¿Se cuenta con disponibilidad de la red?			Se debe consultar disponibilidad de red eléctrica en la empresa prestadora del servicio público. Si la respuesta es no. Hay dos opciones. 1. Solicitar cambio de transformador a la empresa prestadora del servicio. (Esta opción implicará mayores costos). 2. Implementar deberá ser Off Grid.
<b>Selección de componentes</b>			
<b>Módulos fotovoltaicos</b>			
Monocristalinos			
Policristalinos			
Amorfos			
Una vez seleccionado el tipo de modulo se puede determinar la cantidad de Paneles a instalar:			
<b>Inversor</b>			
Inversor de conexión			Aplica solo a sistemas On Grid
Inversor hibrido			Aplica a sistemas On Grid y Off Grid.
Inversor de conexión aislada			Aplica solo a sistemas Off Grid
<b>Baterías</b>			
*La implementación de baterías aumentaría entre un 50% a 80% del costo de inversión del sistema.			
Baterías de Plomo ácido			*Aplica a sistemas Off Grid y opcional a sistemas On Grid
Baterías AGM			
Baterías en GEL			
Baterías estacionarias			

Baterías de litio			
<b>Infraestructura</b>			
¿El Tamaño techo o lugar de instalación de los módulos fotovoltaicos es suficiente?			El tamaño requerido dependerá del módulo fotovoltaico seleccionado y cantidad de paneles requeridos para la capacidad del sistema. Un panel fotovoltaico estándar mide en promedio de 1m de ancho y 1,7m de largo, o alrededor de 1,7 m <sup>2</sup> .
¿La estructura actual del techo o área a instalar los módulos fotovoltaicos cuenta con la resistencia para soportar el peso?			Un panel fotovoltaico típico pesa aproximadamente entre 15 y 20 kilogramos.
¿Hay suficiente exposición solar en el área de ubicación de los módulos fotovoltaicos?			
¿El área de ubicación de los módulos fotovoltaicos es de fácil acceso?			
¿El área de ubicación de los módulos fotovoltaicos cuenta con ventilación natural?			
¿Conoce los requerimientos del proceso de conexión para Autogeneradores?			Aplica solo a sistemas On Grid. Ver ítem 5.4.1.5
¿Conoce la vida útil y garantías del sistema?			Verificar información con proveedor de sistema y/o componentes. En promedio la vida útil de los paneles e inversores está entre 15 y 25 años.
<b>ASPECTOS LEGALES</b>			
¿El sistema a implementar cumple con los requisitos de ley)			Ver ítem 5.4.2
¿La vivienda es estrato 1, 2 y 3 y hogares con ingresos de hasta dos salarios mínimos legales vigentes (SMLV)?			El Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y el Fondo Nacional del Ahorro (FNA) anunciaron una alianza para financiar la instalación de soluciones solares fotovoltaicas que ofrece condiciones favorables como tasas de interés desde el 10% efectivo anual.
<b>ASPECTOS ECONOMICOS</b>			
¿Se realizó el retorno de la inversión?			El retorno de inversión en promedio de un sistema On Grid sin baterías está en promedio entre 4 y 5 años. El retorno de inversión en promedio de un sistema Off Grid está en promedio entre 8 y 10 años. (El sistema de baterías incrementa el costo de la solución fotovoltaica).
¿Se realizó análisis de venta de excedentes?			Si al final del mes usted tiene energía no consumida, la compañía eléctrica le pagará por esa cantidad de energía.

Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

La implementación de soluciones fotovoltaicas en viviendas en Barrancabermeja es una alternativa viable, además de sostenible para generar energía renovable y contribuir al proceso de transición energética del país. Considerando que el distrito cuenta con radiación solar en promedio de 6 horas diarias esto como máximo requisito para la generación de energía solar y a lo largo de esta monografía se ha demostrado e identificado que los aspectos técnicos y operativos requeridos son básicos pero algunos importantes y/o restrictivos dado que para una Instalación On grid se requiere contar con la disponibilidad de la red. En relación a los aspectos legales se debe cumplir con requisitos normativos para dar cumplimiento a la seguridad de diseño, construcción y operación de las instalaciones eléctricas a fin de salvaguardar la seguridad de las personas. Respecto a los aspectos económicos actualmente el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y el Fondo Nacional del Ahorro (FNA) ha anunciado una colaboración para financiar la instalación de soluciones solares fotovoltaicas en viviendas de los estratos 1, 2 y 3 donde se ofrece condiciones favorables como tasas de interés desde el 10% efectivo anual para hogares con ingresos de hasta dos salarios mínimos legales vigentes (SMLV), además de amplios plazos de pago y flexibilidad. Al igual que se determinó que el tiempo de retorno de inversión de sistemas On grid sin baterías está entre 4 y 5 años y en sistemas off grid entre 8 y 10 años, teniendo en cuenta que la vida útil promedio del sistema está entre 20 y 25 años.

## REFERENCIAS

- Alonso, JA. (2024) Eficiencia y Rendimiento de placas solares. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/paneles-solares-rendimiento/>
- Álvarez Castañeda, A. M., & Zuluaga Castaño, Á. M. (2020). Energía solar fotovoltaica para viviendas y cultivos en zona rural del corregimiento de San Cristóbal ubicado en la zona centro occidental de Medellín (Trabajo de grado, Uniminuto). [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/15371/1/AlvarezAlina-ZuluagaAngela\\_2020.pdf](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/15371/1/AlvarezAlina-ZuluagaAngela_2020.pdf)
- Ang, T.-Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939. [https://doi.org/10.1016/S2211-467X\(22\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S2211-467X(22)00133-X)
- Aranguren Ávila, L. A. (2023). Proyectos fotovoltaicos flotantes (FPV): Consideraciones ambientales, geográficas y sociales para su desarrollo en Colombia (Trabajo para optar por el título de Magíster en Derecho y Gestión Ambiental, Universidad del Rosario). Repositorio Institucional. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/a1a54862-f18d-4f42-b3a4-047f711853e3/content>
- Atlas de Radiación Solar de Colombia [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf)
- Bustamante Ruiz, J. J., & Ospina Abaunza, J. (2020). Factibilidad para la implementación de un sistema de generación energética independiente basados en recursos renovables para el Centro Educativo Liceo Rafael Núñez de la Ciudad de Barrancabermeja (Trabajo de grado, Unidades Tecnológicas de Santander). <http://repository.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3258/R-DC-95%20Factibilidad%20Generacion%20Independiente.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Cabrales, S., & Delgado, M. E. (2022). Transición energética en Colombia: Política, costos de la carbono-neutralidad acelerada y papel del gas natural. Fedesarrollo. [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4318/Reporepor\\_Agosto\\_2022\\_Benavides\\_Cabrales\\_y\\_Delgado.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4318/Reporepor_Agosto_2022_Benavides_Cabrales_y_Delgado.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Carantón Téllez, A. L. (2021). Formulación de proyecto de energía solar fotovoltaica para zonas rurales no interconectadas en el municipio de Guateque-Boyacá (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/cd3100e0-cd2a-43e7-9447-fba097ff83c2/content>
- Chinchilla Ríos, S. E., & Salinas Romero, Y. A. (2022). Propuesta de sostenibilidad para la utilización de energía fotovoltaica en zonas residenciales de Bogotá. Un estudio de caso para el conjunto residencial Ciudad Tintal 2 Etapa 2 (Proyecto integral de gradom Fundación Universidad de América). <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8813/1/3161219-2022-1-II.pdf>

- Colombia. Ministerio de Minas y Energía. (2005). Atlas de radiación solar en Colombia. El Ministerio, Unidad de Planeación Minero Energética, IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- CONPES Consejo Nacional de Política Económica y Social Republica de Colombia, Departamento Nacional de Planeación (2022). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>
- Emergente Energía Sostenible. (s. f.). Cotiza tu sistema de energía solar fotovoltaica. [https://www.emergente.com.co/cotiza-tu-proyecto-solar-v2/resultados\\_con\\_ID.php?idProsumidor=10566](https://www.emergente.com.co/cotiza-tu-proyecto-solar-v2/resultados_con_ID.php?idProsumidor=10566)
- Enel X. (s. f.). ¿Qué es un sistema fotovoltaico on grid y off-grid? <https://www.enelx.com/cl/es/preguntas-y-respuestas/ques-un-sistema-fotovoltaico-on-grid-y-off-grid>
- Financiación de Créditos para Vivienda con Energías Renovables. (2015, 5 febrero). <https://www.fna.gov.co/prensa/boletines-de-prensa/financiacion-de-creditos-para-vivienda-con-energias-renovables>
- Galvis Beleño, J. A., & Piamonte Rodríguez, Y. A. (2021). Diseño técnico de un sistema de energía solar fotovoltaica y estudio de viabilidad para conectar los servicios de áreas comunes en el Centro Comercial y Empresarial San Silvestre S.A en la ciudad de Barrancabermeja (Trabajo de seminario de grado, Unidades Tecnológicas de Santander). <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7054/SEMINARIO%20F-DC-125%20JAGB%20YAPR%20VF.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Golroodbari, S., Fthenakis, V., & van Sark, W. (2021). Floating photovoltaic systems. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00174-6>
- Hernández Palma, Hugo Gaspar; Pinto Torres, Francisco Javier. Guía de interventoría administrativa para la implementación de sistemas fotovoltaicos, aplicados a proyectos de construcción en la región caribe colombiana durante el periodo 2020-2021 en Colombia. 2022. Tesis Doctoral. Universidad Santo Tomás
- Jaraba Pérez, J. N., & Rincón Hostia, H. D. (2020). Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de energía solar fotovoltaica en sistemas de refrigeración de bajo costo, a partir del aprovechamiento del potencial de irradiación solar de la ciudad de Barrancabermeja (Artículo, Universidad Cooperativa de Colombia). <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/59389a9f-8a3e-4510-be57-5753d2ec67ec/content>
- Medina C., G. J. (2021, noviembre 28). Tecnología apropiada para la generación y el uso de la energía. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/tecnolog%C3%ADa-apropiada-para-la-generaci%C3%B3n-y-el-uso-de-energ%C3%ADa-medina-4e/>
- Ministerio de Minas y Energía. Ley 1715 de 2014
- Montañez, J. A., Vargas, J. L., Trujillo, E. M., & Suárez Palacios, S. (2023). Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela Campo 45 del corregimiento Centro de la ciudad de Barrancabermeja. Revista UNAD - Hemeroteca. <https://doi.org/10.22490/26653176.2785>
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050. Código eléctrico colombiano. [https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma\\_%20NTC\\_2050\\_98\\_codigo\\_electrico\\_col.pdf](https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma_%20NTC_2050_98_codigo_electrico_col.pdf)
- Orjuela Chacón, O. O. (2023). Energía fotovoltaica - Autogeneración de energía eléctrica para una vivienda en Barrancabermeja. Revista de Investigaciones, Desarrollo e Innovación en Ingenierías - RIDING, 7(1). <https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/riding/article/view/107>
- Perpiñán, O (2023) Energía solar fotovoltaica. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Ramírez, MA (2024) Análisis de rendimiento y estrategias de mejora para una planta fotovoltaica de 90KW. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27319/1/UPS-GT004963.pdf>
- Ramos, G. (2021, 1 julio). Colombia reducirá en un 51% sus emisiones de gases efecto invernadero para el año 2030 -. <https://www.minambiente.gov.co/colombia-reducira-en-un-51-sus-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-para-el-ano-2030/>
- Ranganathan, R., Subbaram, S., Indira, G., & Arul Arasi, N. (2023). A comparative study of renewable energy sources for power generation in rural areas. E3S Web of Conferences, 387(12). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338705011>
- Sánchez Gamboa, L. T., & Domínguez Amorochó, M. F. (2023). Propuesta de sistema fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica en la Vereda Campo 38 del Corregimiento El Centro (Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.). Repositorio Institucional de la UNAD. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/57761/1/lisanchezgam.pdf>
- Solargis. (s. f.). Global Solar Atlas. The World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info/detail?m=site&c=7.074659,-73.842545,11&s=7.074905,-73.842669>

## Tópico en desarrollo

# HUELLA DE CARBONO COMO INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN MiPymes DEL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES

Palencia Martínez, Yagnio Amir., Gaviria Carvajal, Julián Andrés., Beltrán Osma, Arley Yesid y Meza Naranjo, Carlos Mauricio\*

[julian.gaviria@unipaz.edu.co](mailto:julian.gaviria@unipaz.edu.co), [arley.beltran@unipaz.edu.co](mailto:arley.beltran@unipaz.edu.co), [carlos.meza@unipaz.edu.co](mailto:carlos.meza@unipaz.edu.co)

Instituto Universitario de la Paz - UNIPAZ

*\*Grupo de Investigación de Ingeniería Ambiental GIAS-UNIPAZ*

## RESUMEN

La huella de carbono es clave para medir y gestionar el impacto ambiental de las operaciones empresariales, especialmente en sectores como las telecomunicaciones, donde el uso intensivo de tecnología contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este estudio analiza cómo las MiPymes de telecomunicaciones en Barrancabermeja pueden adoptar estrategias sostenibles mediante la gestión de su huella de carbono, identificando fuentes de emisión, regulaciones aplicables y oportunidades de mejora.

Aunque el sector representa una fracción menor de las emisiones globales, su rápido crecimiento y demanda energética exigen estrategias específicas para cumplir con las metas de carbono neutralidad de Colombia para 2050. Fuentes como centros de datos, redes de transmisión y producción de equipos tecnológicos generan importantes emisiones directas e indirectas. Normas internacionales como ISO 14064 e ISO 14067 proporcionan marcos para cuantificar y reducir emisiones, mientras que leyes nacionales como la 1715 de 2014 y la Resolución 642 de 2019 promueven prácticas sostenibles.

El análisis de 20 empresas locales reveló que solo un 55% han implementado acciones significativas hacia la sostenibilidad, como el uso de fibra óptica, programas de reciclaje de dispositivos eléctricos y electrónicos e instalación de paneles solares en oficinas principales. Estas iniciativas no solo reducen costos operativos y mejoran la reputación empresarial, sino que también facilitan el cumplimiento normativo y el acceso a mercados más exigentes.

En conclusión, la gestión de la huella de carbono es esencial para que las MiPymes de telecomunicaciones mitiguen su impacto ambiental y fortalezcan su competitividad, posicionándolas como líderes en la transición hacia un desarrollo sostenible.

**Palabras claves:** energía renovable, sostenibilidad, TICs.



# Gestión Ambiental

**"Innovación para la Sostenibilidad:  
Del Carbono a la Biodiversidad"**

