



ALIANZA POR LA  
**MINERÍA RESPONSABLE**

# Reducción de la Huella de Carbono en Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Colombia y Perú

Fecha de apertura:  
**Julio 2024**

Fecha de finalización:  
**Julio 2025**

Ejecutor:

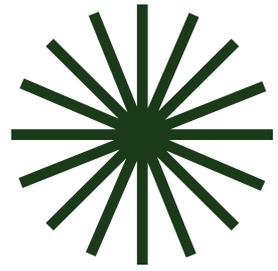
**Alianza por la Minería  
Responsable**

Donante:

**Scotiabank Net Zero  
Research Fund**

**Scotiabank®**

# Objetivo del proyecto



El proyecto tuvo como objetivo principal generar conocimiento técnico y aplicado sobre la reducción de la huella de carbono en operaciones de minería artesanal y de pequeña escala (MAPE), mediante la identificación, análisis e implementación de buenas prácticas ambientales. Se buscó avanzar hacia la descarbonización del sector MAPE a través del diseño de estrategias de eficiencia energética, manejo de residuos, rehabilitación ambiental, y uso de energías renovables, acompañadas de mecanismos de financiamiento que viabilicen su adopción. La iniciativa contempló la medición y análisis de la huella de carbono en ocho unidades mineras de Colombia y Perú, así como la implementación piloto de un plan de reducción en una de ellas, utilizando una herramienta desarrollada por ARM.



Se ha realizado la publicación de un blog para socializar la investigación en el siguiente enlace: [Visita el blog aquí](#)



## SIGLAS

ARM - Alliance for Responsible Mining

GEI – Gases de Efecto Invernadero

MAPE – Minería Artesanal y de Pequeña Escala

OMAPE – Organización de Minería Artesanal y de Pequeña Escala

# Resultados esperados



Con la implementación del proyecto, se esperaba:

- Consolidar evidencia técnica sobre las emisiones de GEI en la MAPE, contribuyendo a cerrar una brecha crítica de información. Se midieron y analizaron emisiones de alcance 1, 2 y 3 en operaciones mineras auríferas de pequeña escala, lo que permitió cuantificar su impacto climático y orientar intervenciones basadas en datos concretos.
- La identificación e implementaron prácticas viables de mitigación alineadas con la transición energética justa, como la eficiencia energética, el aprovechamiento de lodos, la reforestación y la gestión de residuos. Estas medidas demostraron ser técnicamente aplicables y con potencial de escalabilidad, sentando las bases para futuras inversiones en descarbonización.
- El diseño y la validación de un modelo piloto replicable de reducción de huella de carbono, que integra diagnóstico, implementación y monitoreo de acciones sostenibles. Este modelo, probado en una operación real, puede ser adaptado por otras unidades mineras interesadas en reducir su impacto ambiental de manera progresiva y medible.
- Se adquirió conocimiento técnico clave a partir de la auditoría energética piloto, lo que permitió identificar oportunidades concretas de optimización en el uso de energía convencional .

# Resultados esperados

- Se amplió y fortaleció el portafolio de herramientas de ARM enfocadas en cambio climático, integrando nuevas metodologías de cálculo de huella de carbono, análisis de oportunidades de mitigación y propuestas de financiamiento verde, articuladas con las estrategias de Forest Smart Mining y huella hídrica.

## Retos a superar

Entre los principales desafíos se encontraron:

- La limitada/escasa disponibilidad de información sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en la MAPE aurífera y las herramientas y métodos de gestión de emisiones para la reducción de estas.
- Las restricciones técnicas y financieras de las operaciones mineras a pequeña escala para implementar medidas de mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- La necesidad de generar apropiación comunitaria, sostenible y a largo plazo sobre las acciones y mecanismos propuestos para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Dificultades de acceso a fuentes y mecanismos de financiamiento para la implementación de acciones adaptadas a la realidad de la MAPE.

# I. ¿Cuáles fueron los hallazgos clave de su investigación?

Optimización del consumo energético y reducción de costos operativos

Las auditorías energéticas realizadas demostraron que la incorporación de tecnologías de alta eficiencia — como motores IE3+, sistemas avanzados de control y tableros inteligentes— tiene el potencial de generar ahorros energéticos del 10% al 30% en determinadas operaciones. Estos resultados implican una disminución directa de los costos operativos y además generan reducciones sustanciales de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía, evidenciando una estrategia de doble impacto: económico y ambiental.

Avances hacia la economía circular en residuos sólidos

La aplicación de principios de economía circular permitió identificar oportunidades concretas para la reutilización de roca estéril en obras de infraestructura minera, como vías y muros de contención.

Esta práctica permite:

- La reducción del volumen de residuos enviados a disposición final.
- La disminución de los impactos ambientales asociados
- Un cambio de paradigma en la gestión de materiales, transformando un pasivo en un recurso aprovechable.



### **Incremento en la captura de carbono mediante restauración**

Los planes piloto de reforestación y biorremediación implementados en zonas degradadas contribuyen a la recuperación paisajística y ecológica y además, aportan a la captura de carbono. En el mediano plazo, hasta 5 años, esta cobertura vegetal podría compensar entre un 10% y un 15% de las emisiones totales estimadas en la operación minera, integrando la compensación como una estrategia activa de descarbonización.

### **Mejora en la gestión del agua y vertimientos**

La instalación de sistemas de recirculación y tratamiento de aguas residuales mediante tanques artificiales redujo de manera significativa la carga contaminante, garantizando el cumplimiento de los parámetros normativos y minimizando el impacto sobre los cuerpos de agua receptores. Estas medidas también lograron reducir el consumo de agua fresca en más del 40%, reforzando el uso responsable de este recurso crítico.

### **Eficiencia energética y uso de electricidad (Alcance 2)**

Se identificó que el consumo de energía eléctrica proveniente del Sistema Interconectado Nacional representa únicamente el 9% de la huella de carbono total. La auditoría energética evidenció buenas prácticas ya implementadas, como el uso de motores de alta eficiencia y medidas operativas racionales, lo que confirma que este aspecto no constituye una debilidad crítica, aunque sigue existiendo margen para optimización y sustitución por fuentes renovables.

### **Alto Potencial de energías renovables en el país**

Las condiciones climáticas y estructurales detectadas en la operación minera ofrecen un escenario favorable para la instalación de sistemas de energía solar en las plantas de procesamiento y propiamente en las minas. Esta oportunidad podría reducir de forma considerable las emisiones de Alcance 2, mejorar la autonomía energética y aumentar la resiliencia frente a interrupciones o variaciones de costos en el suministro eléctrico.

### **Emisiones indirectas predominantes (Alcance 3)**

El análisis reveló que las emisiones de Alcance 3 representan el 82% de la huella total, vinculadas principalmente a:

- a) Generación de residuos: Especialmente lodos con potencial de aprovechamiento como sustrato en biorremediación y revegetalización, tras cumplir procesos de análisis y acondicionamiento.
- b) Cadena de suministro: Insumos químicos y materias primas transportadas desde largas distancias, con un peso significativo de emisiones asociadas a transporte y logística.

Este hallazgo resalta la necesidad de abordar la descarbonización más allá de los límites directos de la operación.

### **Gestión de residuos peligrosos en contextos de riesgo**

Se detectaron residuos peligrosos cuyo manejo externo se ve limitado por la ausencia de rutas de recolección seguras, derivada de problemas de orden público. Ante esta barrera, se plantea el fortalecimiento de las prácticas internas de almacenamiento y tratamiento seguro como medida temporal para prevenir riesgos ambientales y de salud, mientras se gestionan soluciones logísticas viables adaptadas a los contextos locales.

### **Costos significativos para la descarbonización**

La inversión estimada para implementar las acciones clave del plan de descarbonización ronda los 100.000 USD por cada operación minera a pequeña escala. Si bien esta cifra representa un reto para las operaciones artesanales y de pequeña escala, también pone en perspectiva la necesidad de acceder a mecanismos de financiación, incentivos fiscales y alianzas estratégicas que viabilicen la transformación en un horizonte de aproximadamente dos años.

### **Tiempos prologados para la implementación de acciones de mejora**

Varias acciones contempladas en la ruta hacia la carbono neutralidad requieren plazos extendidos. La adopción de energías limpias depende de trámites técnicos y autorizaciones externas que pueden tardar entre 6 y 12 meses. Asimismo, los procesos de remediación y revegetalización requieren múltiples fases —análisis de suelos, mejoramiento de condiciones fisicoquímicas, empradización y revegetalización— cuyos beneficios en captura de carbono solo son plenamente visibles después de cinco años de maduración de la cobertura vegetal.

# II. ¿Cómo impactó el conocimiento adquirido en su investigación a su organización y público objetivo?

La investigación sobre la huella de carbono en la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) generó un cuerpo de conocimiento técnico, operativo y estratégico de alto valor, con aplicaciones directas a nivel organizacional y potencial de réplica en el sector minero global

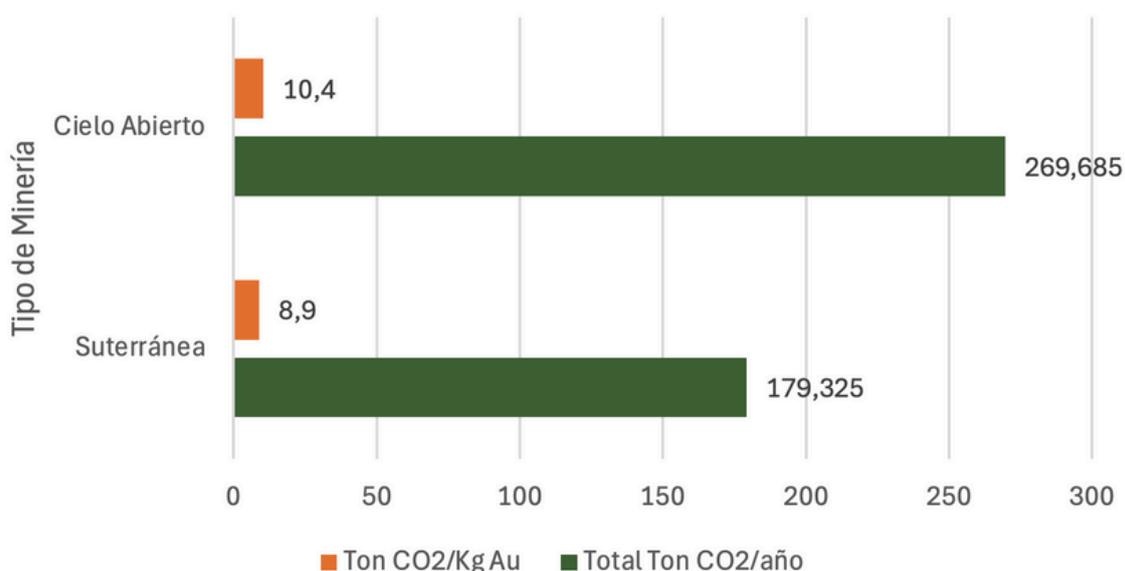
Este conocimiento generó herramientas prácticas para la toma de decisiones, la planificación y la implementación de acciones orientadas a la descarbonización en la MAPE.

Desde el punto de vista técnico, se logró mapear con precisión las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en las operaciones mineras, diferenciando emisiones directas (alcance 1), indirectas por consumo eléctrico (alcance 2) y otras indirectas de la cadena de valor (alcance 3). Este diagnóstico detallado permitió diseñar estrategias de mitigación basadas en evidencia, que incluyen la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, el aprovechamiento del potencial de energías renovables, la recirculación y uso eficiente del agua, la gestión responsable de residuos y la restauración ecológica de áreas degradadas.

Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3
<ul style="list-style-type: none"><li>• Gasolina.</li><li>• Diesel.</li><li>• Gas natural.</li><li>• Gas propano.</li><li>• Petróleo ligero.</li><li>• Combustible de aceite pesado.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uso de Electricidad para el movimiento de todos los equipos eléctricos en mina y procesamiento.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uso de sustancias químicas.</li><li>• Calidad del agua que sale de la operación.</li><li>• Generación de residuos, incluyendo los peligrosos.</li><li>• Desplazamiento de trabajadores.</li><li>• Desplazamiento de mineral y venta.</li></ul>

A nivel sectorial, la investigación proporcionó datos inéditos al calcular la huella de carbono de ocho organizaciones mineras en Colombia y Perú, permitiendo establecer puntos de comparación según las condiciones operativas, el tipo de minería, el volumen de producción y el número de trabajadores. Este análisis comparativo sentó las bases para definir prácticas comunes que, una vez adoptadas, podrían reducir significativamente la huella de carbono y servir como modelo replicable para otras unidades mineras interesadas en transitar hacia la carbono neutralidad.

### CO2 Emitido por Minería de Pequeña Escala



Fue posible establecer puntos en común de las OMAPE que derivan en líneas de investigación claras para aplicar y escalar a la actividad de pequeña minería. De esta forma se establecen estrategias por línea para la para la reducción y búsqueda de la descarbonización de la actividad. Las estrategias que se investigaron bajo el marco del proyecto son las que se muestran a continuación, en donde también nos centramos en estimar el porcentaje de reducción que se podría materializar si se implementan en un 100%.



<b>Estrategia</b>	<b>Acción resumida que reduce impacto y huella</b>	<b>% estimado de reducción de huella</b>
<b>1. Eficiencia Energética</b>	Implementación de auditorías, optimización de procesos, mantenimiento predictivo y tecnologías limpias (paneles solares, motores eficientes, etc.)	20% a 50%
<b>2. Gestión de Residuos</b>	Aplicación de economía circular, compostaje de residuos orgánicos y minimización de residuos peligrosos (reutilización, clasificación y reciclaje)	15% a 30%
<b>3. Restauración Ambiental</b>	Reforestación, conservación de suelos, biorremediación de suelos contaminados y restauración de ecosistemas degradados	25% a 35%
<b>4. Participación Comunitaria</b>	Educación ambiental, cogestión, modelos de gobernanza y adopción de comportamientos sostenibles por parte de trabajadores y comunidades	5% a 15% (indirecta, por cambio cultural)
<b>5. Gestión de Sustancias (Mercurio y químicos)</b>	Eliminación o reducción del uso de mercurio y cianuro, adopción de tecnologías limpias, protocolos de manejo seguro y recuperación de contaminantes	50% a 90%
<b>6. Uso Racional de Materiales</b>	Elección de insumos duraderos, tecnologías de precisión, reciclaje interno, gestión eficiente del agua y análisis del ciclo de vida	20% a 40%
<b>7. Gestión de Vertimientos</b>	Implementación de humedales artificiales, sistemas de tratamiento y recirculación de aguas residuales, y monitoreo continuo	30% a 60%

En el plano organizacional, el conocimiento generado cristalizó en la formulación de un Plan de descarbonización, alineado con estándares internacionales como el GHG Protocol y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Este plan fortaleció la capacidad de planificación ambiental y el cumplimiento normativo de la organización, así mismo, mejoró su posicionamiento competitivo frente a las exigencias de sostenibilidad de los mercados globales, abriendo oportunidades para acceder a esquemas de certificación y financiamiento verde.



<b>Auditoria Energetica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnostico de consumo energético de equipos</li> <li>• Identificación de puntos de desperdicio energetico</li> <li>• Propuesta sustitución de equipos, oportunidad de mejoras operativas y ahorro energetico</li> </ul>
<b>Energía renovables</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de la radiación electromagnetica del sol</li> <li>• Diseño de sistema fotovoltaico</li> <li>• Conexión con el sistema de red electrica local</li> <li>• Uso de energía limpia</li> </ul>
<b>Gestión del agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificación de la cantidad de agua utilizada en el proceso minero</li> <li>• Propuesta de reciculación de agua y disminución en la captación de agua</li> <li>• Vertimiento de calidad</li> </ul>
<b>Gestión de residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de tipo de residuos generados</li> <li>• Plan de reducción, incluyendo reutilización de residuos</li> <li>• Disposición final de residuos</li> </ul>
<b>Gestión de sustancias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de las sustancias utilizadas</li> <li>• Propuesta de reducción / sustitución</li> </ul>
<b>Transportes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte de personal, de mineral y de venta de oro</li> <li>• Propuesta de reducción de transportes / usos de biocombustibles</li> </ul>
<b>Reforestación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de área de recuperación / reforestación</li> <li>• Análisis de suelos, identificación de especies y diseño del proceso de reforestación</li> <li>• Monitoreo de reforestación</li> </ul>

Finalmente, la investigación pasó de la teoría a la acción con la selección de la operación minera “Los Conquistadores”, ubicada en el departamento del Cauca, Colombia, como caso piloto.. Este piloto representa un laboratorio vivo donde se pusieron en marcha algunas acciones de eficiencia energética, sustitución de combustibles, gestión circular de residuos y revegetalización, con el objetivo de medir en tiempo real su impacto en la huella de carbono. Este paso beneficia a la organización directamente involucrada, y constituye un referente para la MAPE de la región, demostrando que es posible compatibilizar la productividad minera con la responsabilidad climática y sentando un precedente replicable hacia un futuro de operaciones mineras bajas en emisiones.

### **Descripción del piloto en la Organización de Minería Artesanal y de Pequeña Escala - OMAPE**

La operación minera seleccionada tiene un origen familiar, con vínculos arraigados en el territorio desde hace más de 50 años. Inicialmente, la minería se ejercía de forma artesanal y poco tecnificada. Con el tiempo la familia ha logrado consolidar una operación minera con enfoque empresarial. Desde 2016, adelantan procesos de formalización laboral, contable, administrativa y financiera, en articulación con los mecanismos de formalización minera mediante contratos de operación.

<b>Nombre de la mina:</b>	Los Conquistadores	<b>País:</b>	Colombia	<b>Departamento:</b>	Cauca
<b>Tipo de minería:</b>	Subterránea	<b>Municipio</b>	Buenos Aires	<b>Vereda/sitio:</b>	Loma Alta
<b>Cantidad de trabajadores:</b>	43	<b>Hombres:</b>	39	<b>Mujeres:</b>	4
<b>Turnos de trabajo:</b>	2	<b>Días trabajados en el mes:</b>		26	
<b>Nombre de la planta:</b>	Los Conquistadores	<b>Propia/alquilada:</b>		Propia	
<b>Producto:</b>	Oro	Concentrado	<b>Cantidad:</b>	6	<b>Kg/año</b>

El contrato de operación Los Conquistadores, cuenta con 2 bocaminas; Bocamina La Leche y Gaudal. Esta última no está en actividad. El mineral extraído de estas bocaminas es transportado mediante volquetas a la planta de la misma empresa, donde se realiza el beneficio del mineral mediante procesos de trituración, molienda, concentración y flotación. La distancia que recorren las volquetas de la mina La Leche a la planta son de 10km.



*Planta de beneficio Los Conquistadores*  
*Coordenadas: 2,9839820*  
*-76,6507771*



*Mina La Leche – Los Conquistadores.*  
*Coordenadas: 02°58´30” N -76°39*  
*´30” W*

Adicionalmente, a nivel territorial y social, los resultados de las investigaciones arrojaron elementos fundamentales para el diálogo con comunidades, autoridades ambientales y otros grupos de interés. Al visibilizar los impactos reales de la actividad minera y las oportunidades de mejora, se generarán espacios de confianza, participación y corresponsabilidad. Esto se traduce en el fortalecimiento de prácticas como la educación ambiental, la comunicación de resultados, la adopción de indicadores de desempeño ambiental y la búsqueda activa de fuentes de financiamiento climático.

# III. ¿Sus hallazgos coincidieron con su hipótesis? ¿Por qué sí o por qué no?

## Hipótesis Evaluada

La minería artesanal y de pequeña escala de oro puede demostrar su compromiso con el medio ambiente y la reducción de su huella de carbono al aplicar acciones y estrategias de gestión ambiental. Estas pueden identificarse, evaluarse y priorizarse mediante el análisis de datos de emisiones y la revisión de prácticas en organizaciones seleccionadas y en condiciones reales de operación.

Los resultados de la investigación permiten confirmar que, en la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE), es factible identificar e implementar acciones orientadas a la descarbonización de la actividad, contribuyendo así a la reducción de impactos ambientales, la protección de ecosistemas y la disminución de la huella de carbono como aporte a la mitigación del cambio climático.

Sin embargo, gran parte de estas acciones aún se encuentra en una fase principalmente teórica, debido a que, por los tiempos requeridos para la adopción de las prácticas no fue posible implementar la totalidad de las estrategias previstas ni evaluar sus resultados a largo plazo bajo condiciones reales de operación.

Entre los principales hitos alcanzados en el piloto se destacan:

- Reducción de emisiones: Se proyecta una disminución de CO<sub>2</sub> para el 2025 aproximada de 5.880 kgCO<sub>2</sub>eq gracias a acciones como la gestión integral de residuos, la recuperación de suelos mediante biorremediación, la instalación de huertos con aprovechamiento de residuos orgánicos y la mejora en prácticas operativas energéticas.
- Diseño técnico para el uso de energía solar: Se estructuró un plan viable para la instalación de un sistema fotovoltaico con capacidad de abastecer el 100% del consumo eléctrico de la operación minera, lo que permitiría una transición progresiva hacia fuentes renovables.
- Reforestación y restauración de suelos: Se puso en marcha un piloto de recuperación ecológica en suelos degradados, con el uso de materiales innovadores como tapetes de cabello reciclado, y se proyecta la siembra de 200 especies nativas con un potencial de captura de 2 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

- Producción sostenible a pequeña escala a través de huertos comunitarios: Se implementó un huerto de 10 m<sup>2</sup> dentro del área minera, alimentado por abono producido a partir del reciclaje de residuos orgánicos. Esta acción no solo fomenta el autoconsumo y la seguridad alimentaria, sino que además evita la emisión de aproximadamente 3.840 kgCO<sub>2</sub>eq al año.
- Transformación organizacional y comunitaria: Se fortaleció la cultura ambiental dentro de la organización a través de campañas de sensibilización, educación ambiental y apropiación de buenas prácticas sostenibles por parte de trabajadores y comunidades.

Estos avances posicionan a la organización como un modelo replicable para otras operaciones de la MAPE. La implementación del plan ha demostrado que es posible avanzar hacia carbono neutralidad mediante acciones progresivas, técnicas y financieramente viables, adaptadas a contextos de pequeña minería.

En la práctica, si bien la actividad minera tiene la obligación de gestionar de forma responsable los impactos derivados de su operación, dichas prácticas no siempre son continuas ni plenamente conscientes en función de los recursos naturales afectados.

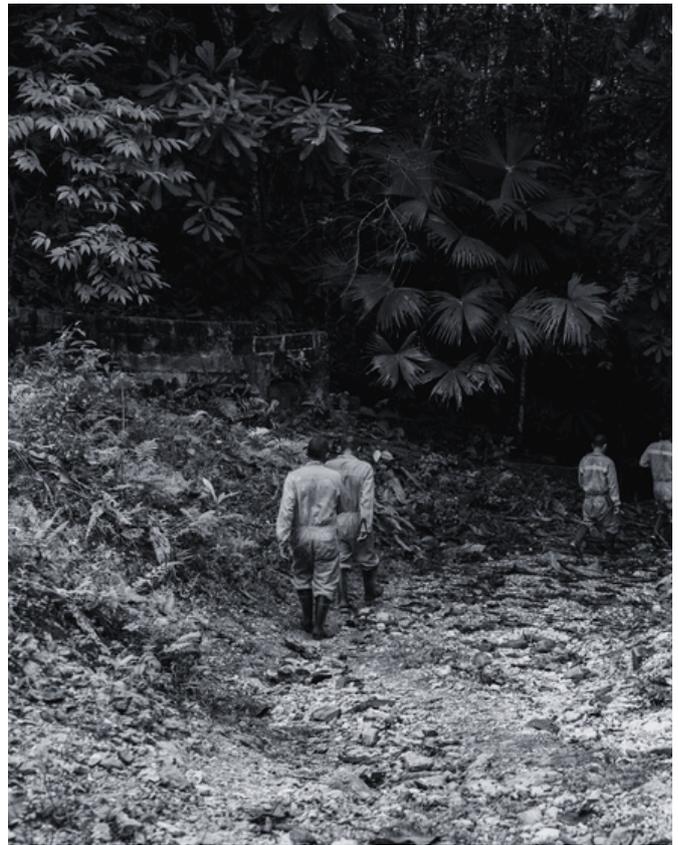
Esto evidencia la necesidad de establecer mecanismos e incentivos que permitan a las organizaciones mineras adoptar tecnologías limpias, incorporar prácticas ambientales responsables y, a su vez, percibir beneficios tangibles derivados de su implementación.

La materialización de estas acciones exige la concurrencia de varios factores clave: disponibilidad de recursos económicos para la adquisición de tecnologías más sostenibles, plazos adecuados para la adopción y el seguimiento de nuevas prácticas, capacitación y fortalecimiento de capacidades en gestión ambiental y en metodologías para la descarbonización de la minería.

En consecuencia, los hallazgos obtenidos se alinean con la hipótesis inicial de forma teórica. Se espera que en fases posteriores y en un horizonte de tiempo mayor, la adopción total de estrategias de descarbonización confirme dicha alineación.

La recomendación generada al terminar este proyecto es la reconfiguración de los tiempos previstos para la implementación del Plan de Gestión Ambiental con enfoque en descarbonización de la MAPE.

Esto permitirá que se adapten los requerimientos a las realidades operativas, técnicas y socioeconómicas. Resulta fundamental mantener un acompañamiento continuo a las MAPE durante todo el proceso, continuando con la asistencia técnica para la adopción efectiva de las acciones propuestas, fortaleciendo las capacidades locales y asegurando el seguimiento periódico de los avances. Este monitoreo debe incluir la medición y evaluación de la huella de carbono, con el fin de verificar los resultados obtenidos, realizar ajustes oportunos y consolidar un proceso de mejora continua hacia operaciones mineras más sostenibles y bajas en emisiones.



## **IV. ¿Qué desafíos encontró durante su proyecto de investigación y cómo los superó?**

### **1. Falta de estandarización metodológica para medir emisiones**

*Desafío:* La ausencia de una metodología unificada para la medición de la huella de carbono en minería de pequeña escala dificulta la cuantificación de la cantidad de Gases de Efecto Invernadero – GEI que se emite por esta actividad, además de no contar con lineamientos claros y direccionados a la reducción, y eventualmente la descarbonización de la actividad.

*Solución:* Se adoptó el enfoque del GreenHouse Gas Protocol, ajustado al contexto nacional mediante los lineamientos del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero-Energético - PIGCCme, lo que permitió obtener una línea base coherente y técnicamente válida para el cálculo de emisiones de Alcance 1, 2 y parcialmente el Alcance 3.

## 2. Desconocimiento del personal MAPE operativo al enfoque ambiental

*Desafío:* Se evidenció una baja apropiación de los conceptos de sostenibilidad ambiental y de huella de carbono entre los colaboradores operativos de la MAPE, lo que genera resistencia a la implementación de medidas de mitigación.

*Solución:* Se diseñó un plan de sensibilización y capacitación con enfoque técnico-práctico, destacando los beneficios económicos de la eficiencia energética, acciones de mitigación del cambio climático y el cumplimiento normativo ambiental, lo que incrementó el nivel de aceptación interna.



## 3. Restricciones económicas para la implementación total del plan estratégico de gestión ambiental

*Desafío:* La ejecución de actividades para la transición de energías fotovoltaicas, gestión de aprovechamiento y disposición final de residuos peligrosos, requieren de una alta inversión de presupuesto por las condiciones geográficas de la zona y las dinámicas sociales.

*Solución:* Se optimizó el proceso de acopio, almacenamiento y separación de residuos peligrosos y aprovechables, con el propósito de mitigar riesgos ambientales, disminuir la generación de residuos y disminuir el impacto generado por los residuos. Asimismo, con los resultados de la auditoría energética se proyectaron acciones para la reducción y optimización del consumo eléctrico en la planta y mina.



#### **4. Aspectos de seguridad en los territorios que no permiten la implementación de acciones de manera normalizada.**

*Desafío:* En la región en donde se proyectó el piloto para la implementación del plan de descarbonización, (Cauca, Colombia), se presentan grupos armados lo que dificulta el acceso de cualquier tipo de intervención externa.

*Solución:* De la mano con la organización minera se establecían algunas visitas de acompañamiento en conjunto, en donde los operadores locales pudieran acompañar los recorridos completos del personal externo que fue a realizar la auditoría energética, socialización sobre cambio climático y la evaluación del sitios para la instalación de la infraestructura para la generación de energías limpias.



#### **5. Limitaciones en áreas con la capacidad de captura de carbono del componente forestal y zonas verde de la organización minera.**

*Desafío:* Tanto el área de la planta de beneficio como el área de la operación minera cuentan con pocas zonas para la siembra de especies vegetales que ayudarían con la compensación de emisiones de Carbono.

*Solución:* Se realizan cuadrantes de revegetalización en zonas destinadas para la disposición final de los lodos y se inicia con el proceso de biorremediación del suelo para recuperar componentes esenciales que requieren fisiológicamente las plantas para su desarrollo.



**A pesar de estos retos, el proyecto logró consolidar un diagnóstico ambiental integral de la operación minera, identificar oportunidades de mejora y proponer medidas concretas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, alineadas con los objetivos de carbono neutro del sector a 2030.**



# V. ¿Qué le sorprendió más de su proyecto y los hallazgos de su investigación?

1. La subestimación generalizada de las emisiones indirectas (Alcance 3) dentro de las operaciones mineras. Por el gran uso de combustibles en minería, así como el equipamiento requerido para la operación minera y el funcionamiento de la planta de beneficio, se esperaba que las mayores emisiones fueran de los otros alcances. La investigación reveló que más del 80% de las emisiones totales estaban asociadas a factores indirectos como la cadena de suministro, uso de explosivos, disposición de residuos y consumo de insumos externos.
2. El potencial real de reducción que tienen ciertas estrategias operativas cuando se aplican de forma integrada permite demostrar la reducción en la emisión de gases efecto invernadero, así como compensar las emisiones que ya no pueden ser disminuidas en la operación como tal. Como se describió anteriormente, con la implementación de acciones adecuadas se logrará la disminución en la generación de GEI en cada una de las acciones evaluadas.

3. La existencia de una alternativa efectiva para su compensación denominada adquisición de Certificados de Energía Renovable (RECs). La compra de estos certificados permite que una organización en este caso, la mina o la planta— atribuyan a su propio consumo eléctrico una generación limpia, reduciendo su huella de carbono de manera verificable y trazable. En Colombia, los RECs se gestionan a través de ECOGOX, el Ecosistema de Certificación de Origen de Energía Renovable, operado por XM, administrador del Sistema Interconectado Nacional de Colombia. ECOGOX está alineado con el estándar internacional I-REC y permite la emisión, trazabilidad y retiro de certificados para asegurar que cada unidad energética renovable solo se contabilice una vez. Las empresas pueden adquirir RECs directamente en la plataforma o a través de comercializadores autorizados, eligiendo entre diferentes tecnologías (solar, eólica, hidráulica, etc.), zonas geográficas y periodos de generación.

# **VI. ¿Cómo se beneficiará la comunidad local, regional o global de esta investigación en relación con el avance de la transición hacia un futuro de cero emisiones netas?**

Esta investigación constituye un aporte estratégico para acelerar la transición hacia un modelo de minería sostenible y descarbonizada, generando beneficios tangibles a nivel local, regional y global. A través del análisis detallado de las emisiones de gases de efecto invernadero en la MAPE se han identificado con precisión las principales fuentes emisoras y las oportunidades más relevantes para su mitigación.

Este conocimiento permite orientar la implementación de medidas concretas como la eficiencia energética en maquinaria, la electrificación de procesos, el control de emisiones fugitivas y la optimización en la gestión de residuos, fortaleciendo la relación con las comunidades vecinas, mejorando los indicadores ambientales y fomentando una cultura organizacional comprometida con la acción climática.

En el ámbito regional, los resultados ofrecen una hoja de ruta replicable para otras unidades mineras, sirviendo de referencia para el diseño de planes de gestión ambiental con metas de carbono progresivas y realistas. Esta metodología fomenta la integración de estándares internacionales de sostenibilidad en el sector minero, impulsando prácticas de economía circular y fortaleciendo la articulación con cadenas de valor verdes. La transferencia de este modelo a diferentes contextos regionales favorece la homogenización de buenas prácticas y la creación de sinergias entre actores mineros, autoridades ambientales, comunidades y entidades de apoyo técnico.

Los hallazgos se alinean directamente con los compromisos climáticos establecidos por Colombia y otros países mineros en el marco del Acuerdo de París. La evidencia técnica generada contribuye al desarrollo de estrategias sectoriales de descarbonización y a la validación de metodologías específicas para la cuantificación de huellas de carbono en actividades extractivas, un campo que aún presenta vacíos importantes de información. De esta manera, la investigación fortalece la base científica y técnica necesaria para respaldar políticas públicas y acciones orientadas hacia un futuro de cero emisiones netas.

En síntesis, esta investigación impulsa la innovación ambiental en el sector minero, y posiciona a la MAPE y minería en general como actores estratégicos en la lucha contra el cambio climático. Se demuestra que es posible compatibilizar la productividad minera con la responsabilidad climática, sentando las bases para una transición justa y sostenible que beneficie a las comunidades locales, dinamice la economía regional y aporte a los objetivos climáticos globales.

## **Una vez finalizada la investigación, ¿cuáles son sus próximos pasos para continuar o maximizar el impacto de este trabajo?**

El siguiente paso será continuar el acompañamiento a la organización minera en la que se desarrolló el piloto del Plan de Descarbonización, para seguir con las mediciones de la viabilidad de carbono neutralidad en la MAPE bajo condiciones reales de operación.

Este proceso incluirá el seguimiento cercano a la ejecución de las acciones priorizadas, asegurando que las metas de reducción de emisiones se cumplan y sean verificables.

Dentro de este apoyo, se promoverá la adopción progresiva de tecnologías para la generación de energías limpias, la optimización en la gestión de residuos, la sustitución de combustibles por alternativas con menor huella de carbono, y la implementación de programas de revegetalización de áreas degradadas como medida de compensación. Estas intervenciones estarán orientadas a demostrar, con datos y evidencias, la disminución efectiva de las emisiones en la operación minera.

En paralelo, se buscará replicar las acciones y aprendizajes derivados de esta investigación en unidades mineras líderes que actualmente cumplen con estándares de producción responsable, pero que, a través de este enfoque de descarbonización, podrían fortalecer aún más su desempeño ambiental y su reputación en el mercado. Este trabajo permitirá validar la escalabilidad del modelo y su aplicabilidad en diferentes contextos productivos.

Finalmente, se impulsará la transferencia de estas prácticas a otras unidades mineras interesadas en demostrar la descarbonización de sus operaciones. Este proceso contemplará actividades de capacitación, asistencia técnica y generación de alianzas estratégicas, con el fin de ampliar el alcance de los resultados, consolidar redes de colaboración y contribuir de manera más amplia a la transición hacia una minería baja en emisiones y ambientalmente responsable.



Sitio web:

**[www.responsiblemines.org](http://www.responsiblemines.org)**



Correo:

**[arm@responsiblemines.org](mailto:arm@responsiblemines.org)**

Ejecutor:



Donante:

**Scotiabank**

