

# **ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN**

**MAESTRÍA EN**

**GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL**



**Newman**  
Escuela de Posgrado

**“Propuesta para implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración”**

**Trabajo de Investigación**

**para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

Maestro en

Gestión Minera y Ambiental

**Autores:**

Ing. Bermeo Jimbo, Jairon Vicente

**Docente Guía:**

MBA. Niquen Espejo, Christopher

**TACNA – PERÚ**

**2023**

# Jairon Bermeo

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del (los) autor (es)”

## ÍNDICE

RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	18
1.1 TEMA.....	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	23
1.3.1 Objetivo General.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos .....	23
1.4 METODOLOGÍA .....	24
1.4.1 Tipo de estudio .....	24
1.4.2 Lugar de estudio.....	25
1.4.3 Metodología para el cálculo de la huella de carbono, medidas de reducción, medidas de compensación y neutralidad .....	26
1.4.4 Determinación de los indicadores ambientales y medidas de compensación .....	28
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	29
1.6 PRINCIPALES DEFINICIONES.....	31
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	32
1.7.1 Alcance.....	32

1.7.2 Limitaciones.....	34
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>36</b>
2.1 Minería sostenible y mitigación de emisiones de carbono .....	36
2.1.1 Herramientas para la minería sostenible y la mitigación de emisiones: .....	37
2.1.2 Pilares fundamentales de la minería sostenible .....	38
2.1.3 Impactos ambientales de la minería en fase de exploración: deforestación, emisiones de gases de efecto invernadero, degradación del suelo y agua .....	39
2.1.4 Importancia de la mitigación de emisiones de carbono en la minería para cumplir objetivos climáticos globales (por ejemplo, Acuerdo de París).....	41
2.2 Fases de implementación de la Carbono Neutralidad en proyectos mineros .....	43
2.2.1 Evaluación inicial: Identificación de fuentes de emisiones y análisis de ciclo de vida.....	44
2.2.2 Diseño y planificación: Establecimiento de metas y estrategias de reducción .....	45
2.2.3 Implementación: Integración de tecnologías limpias y renovables en operaciones .....	47
2.2.4 Monitoreo y medición: Seguimiento continuo de emisiones y avance hacia la neutralidad .....	49
2.2.5 Verificación y certificación: Procesos para asegurar la autenticidad de la Carbono Neutralidad.....	51

2.3	Herramientas y tecnologías disponibles para reducir la huella de carbono.....	52
2.3.1	Uso eficiente de recursos: Gestión optimizada de agua y energía en operaciones.....	52
2.3.2	Energías renovables: Integración de solar, eólica, hidroeléctrica, y otras fuentes limpias.....	54
2.3.3	Tecnologías de electrificación: Adopción de maquinaria y equipos eléctricos en lugar de combustibles fósiles.....	56
2.3.4	Captura y almacenamiento de carbono: Técnicas para capturar y almacenar emisiones.....	58
2.3.5	Mejora de procesos: Desarrollo de métodos de extracción y procesamiento más eficientes y menos intensivos en carbono.....	60
2.3.6	Innovación en logística: Reducción de emisiones en el transporte y distribución de recursos y materiales.....	62
2.4	Economía circular y aprovechamiento de residuos.....	64
2.4.1	Economía circular en la minería: Reducción, reutilización y reciclaje de materiales.....	64
2.4.2	Gestión de residuos: Minimización y tratamiento de desechos generados en la fase de exploración.....	66
2.4.3	Valorización de subproductos: Identificación de oportunidades para convertir residuos en recursos útiles.....	68
	Capítulo III Marco Referencial.....	71
3.1	Reseña histórica.....	71

3.2	Filosofía organizacional .....	75
3.3	Diseño organizacional.....	79
3.4	Productos y/o servicios .....	84
3.5	Diagnóstico organizacional .....	85
3.5.1.1	Entorno Político.....	86
3.5.1.2	Entorno Económico.....	88
3.5.1.3	Entorno Social - Cultural .....	89
3.5.1.4	Entorno Tecnológico y Ambiental .....	90
3.5.2	Análisis interno .....	91
Capítulo IV Resultados.....		93
4.1	Cuantificación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que permita el cálculo de la Huella de Carbono de un proyecto de pequeña minería en fase de exploración.....	93
4.1.1	Cálculo de la Huella de carbono de emisiones directas .....	94
4.1.2	La determinación de la Huella de Carbono (HC) de las emisiones indirectas Alcance 2 .....	1
4.1.3	La determinación de la Huella de Carbono (HC) de las emisiones indirectas Alcance 3 .....	2
4.1.4	Huella de Carbono generada a partir del consumo de insumos y materiales .....	4
4.1.5	Huella de Carbono generada a partir de la colección y disposición final de los residuos sólidos. ....	6

4.2	Determinar los indicadores ambientales que permitan proponer acciones de mejora e identificar las oportunidades de disminución de la Huella de Carbono. ....	7
4.3	Plantear las medidas de compensación aplicables para alcanzar la neutralidad. ....	26
	Capítulo V Sugerencias .....	41
	Conclusiones .....	49
	Conclusiones .....	51
	Bibliografía.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resumen del cálculo Huella de Carbono de las emisiones directas de combustible .....	94
<b>Tabla 2</b> Cálculo Huella de Carbono de las emisiones directas de combustible .....	1
<b>Tabla 3</b> Consumo de energía eléctrica de mina / Huella de Carbono del Alcance 2..	1
<b>Tabla 4</b> Cálculo de Huella de Carbono Alcance 2.....	1
<b>Tabla 5</b> Cálculo de Huella de Carbono Alcance 2 por mes.....	1
<b>Tabla 6</b> Cálculo de la Huella de Carbono generada a partir del consumo de papel...	3
<b>Tabla 7.</b> Huella de Carbono generada por consumo de insumos en voladura dentro de la mina .....	5
<b>Tabla 8.</b> Hella de Carbono a partir de la colección y disposición final de residuos solidos .....	6
<b>Tabla 9</b> Presupuesto Implementar tecnologías más limpias y eficientes en los procesos mineros. ....	28
<b>Tabla 9</b> Presupuesto Transición hacia vehículos y maquinaria eléctrica o híbrida.	29
<b>Tabla 11</b> Presupuesto Implementar un programa de reforestación intensiva en zonas afectadas por la minería.....	31
<b>Tabla 12</b> Presupuesto Implementar un programa de reforestación intensiva en zonas afectadas por la minería.....	32

<b>Tabla 13</b>	Presupuesto Implementar técnicas de minería de precisión y reciclaje de materiales. ....	33
<b>Tabla 14</b>	Presupuesto Crear un programa continuo de formación en sostenibilidad y reducción de la Huella de Carbono.....	35
<b>Tabla 15</b>	Presupuesto Destinar un porcentaje fijo del presupuesto anual a la investigación y adopción de tecnologías más limpias.....	36
<b>Tabla 16</b>	Presupuesto Implementación de rutas de transporte más eficientes y fomento de medios de transporte con menores emisiones. ....	38
<b>Tabla 17</b>	Presupuesto Involucrarse en más programas y certificaciones de neutralidad de carbono. ....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación política del proyecto Linderos .....	26
--	----

## RESUMEN

La investigación propone la implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración. La pequeña minería es una actividad que ha ganado importancia en diversos países debido a su potencial económico y la creación de empleo local. Sin embargo, también es una actividad que genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático.

El objetivo de esta investigación es proponer una estrategia para reducir y compensar las emisiones de carbono en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración. Para lograr esto, se plantea la implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad, que consiste en identificar y cuantificar las emisiones de carbono generadas por el proyecto y buscar soluciones para reducirlas.

La primera fase de esta propuesta incluye la realización de una evaluación exhaustiva de las emisiones de carbono en todas las etapas del proyecto de pequeña minería, desde la exploración hasta la extracción y el procesamiento del mineral. Esto permitirá identificar las actividades que generan mayor cantidad de emisiones y diseñar estrategias específicas para reducir su impacto ambiental.

Además, se propone la implementación de medidas de eficiencia energética, como la mejora en los procesos de extracción y planificación minera, la utilización de tecnologías más limpias y la reducción del consumo de energía. También se plantea la posibilidad de utilizar energías renovables, como la solar o la eólica, como fuente de energía para el proyecto.

Otra estrategia propuesta es la compensación de las emisiones restantes a través de proyectos de carbono neutralidad, como la reforestación o la conservación de bosques. Estos proyectos pueden absorber una cantidad equivalente de carbono a la emitida por el proyecto de minería, ayudando a compensar el impacto ambiental.

La propuesta busca implementar la primera fase de Carbono Neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración, mediante la identificación y cuantificación de las emisiones de carbono generadas por el proyecto, la implementación de medidas de eficiencia energética y la compensación de las emisiones restantes a través de proyectos de carbono neutralidad. Estas acciones ayudarán a reducir el impacto ambiental de la minería y contribuirán a la lucha contra el cambio climático.

**Palabras claves:** Carbono Neutralidad, pequeña minería, fase de exploración, emisiones de carbono, estrategia, eficiencia energética, energías renovables.

## **ABSTRACT**

The research proposes the implementation of the first phase of Carbon Neutrality in a small mining project in the exploration phase. Small-scale mining is an activity that has gained importance in various countries due to its economic potential and the creation of local employment. However, it is also an activity that generates a large amount of greenhouse gas emissions, which contributes to climate change.

The objective of this research is to propose a strategy to reduce and offset carbon emissions in a small-scale mining project in the exploration phase. To achieve this, the implementation of the first phase of Carbon Neutrality is proposed, which consists of identifying and quantifying the carbon emissions generated by the project and seeking solutions to reduce them.

The first phase of this proposal includes conducting a comprehensive assessment of carbon emissions at all stages of the small-scale mining project, from exploration to mining and mineral processing. This will make it possible to identify the activities that generate the greatest amount of emissions and design specific strategies to reduce their environmental impact.

In addition, the implementation of energy efficiency measures is proposed, such as the improvement in mining extraction and planning processes, the use of cleaner technologies and the reduction of energy consumption. The possibility of using renewable energy, such as solar or wind, as a source of energy for the project is also being considered.

Another proposed strategy is offsetting the remaining emissions through carbon neutrality projects, such as reforestation or forest conservation. These projects can

absorb an equivalent amount of carbon to that emitted by the mining project, helping to offset the environmental impact.

The proposal seeks to implement the first phase of Carbon Neutrality in a small-scale mining project in the exploration phase, by identifying and quantifying the carbon emissions generated by the project, implementing energy efficiency measures, and offsetting the remaining emissions. through carbon neutrality projects. These actions will help reduce the environmental impact of mining and contribute to the fight against climate change.

**Keywords:** Carbon Neutrality, small-scale mining, exploration phase, carbon emissions, strategy, energy efficiency, renewable energy.

## INTRODUCCIÓN

En un mundo marcado por la urgencia de abordar el cambio climático y promover la sostenibilidad, diversos sectores industriales se enfrentan a la necesidad imperante de reformular sus prácticas en busca de un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación ambiental. Entre estos sectores, la industria minera emerge como un protagonista fundamental en esta transición hacia un futuro más sostenible. Incluso en sus escalas más modestas, los proyectos de pequeña minería no son inmunes a esta responsabilidad, sino que, por el contrario, tienen la oportunidad de liderar la vanguardia de prácticas sostenibles. Esta propuesta tiene como objetivo presentar una estrategia detallada para implementar la primera fase de carbono neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración, delineando un camino hacia la mitigación efectiva de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

La pequeña minería es una actividad que tiene un alto impacto en el medio ambiente, especialmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo que resulta fundamental implementar medidas que reduzcan dichas emisiones y que contribuyan a la fase de carbono neutralidad.

En un mundo cada vez más consciente de los impactos adversos del calentamiento global, la industria minera ha estado bajo el escrutinio de la opinión pública y las regulaciones gubernamentales. Horta & García (2023), destacan que la extracción y procesamiento de minerales, si bien es esencial para la producción de diversos bienes, conlleva un significativo aporte de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático. En este sentido, los proyectos de

pequeña minería, aunque a menor escala que sus contrapartes de gran envergadura, no están exentos de su participación en esta problemática ambiental.

La fase de carbono neutralidad consiste en alcanzar un equilibrio entre las emisiones de carbono generadas por una actividad y las acciones que se implementan para reducir, compensar o eliminar estas emisiones (Montoya *et al.*, 2022). Para lograr esto, es necesario desarrollar un plan que aborde tanto las fuentes directas como las indirectas de emisión de gases de efecto invernadero.

El objetivo de esta propuesta es implementar la primera fase de carbono neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración. Esta fase estará enfocada principalmente en la medición y cuantificación de las emisiones de carbono asociadas a las actividades mineras, así como en la identificación de las medidas necesarias para reducir estas emisiones.

Se llevará a cabo un inventario de emisiones de carbono, que consistirá en la medición y cuantificación de las emisiones generadas por las actividades mineras, incluyendo el consumo de energía, transporte, uso de maquinaria y cualquier otro proceso relacionado.

Posteriormente, se analizarán los resultados del inventario y se identificarán las principales fuentes de emisión de carbono y se determinarán las medidas necesarias para reducir estas emisiones, considerando tanto cambios en la tecnología y los procesos de la actividad minera, como la implementación de medidas de eficiencia energética y de reducción de consumo de combustibles fósiles.

Por otra parte, se explorarán las opciones de energías renovables para reemplazar las fuentes de energía convencionales utilizadas en el proyecto minero.

Tales acciones abarcan la instalación de paneles solares, el uso de energía eólica o la implementación de sistemas de cogeneración, una vez definidas las medidas a implementar, se desarrollará un plan de acción que incluya un cronograma de ejecución, asignación de responsabilidades y presupuesto necesario para llevar a cabo las acciones propuestas.

Cancino (2022), considera que la implementación de la primera fase de carbono neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración es fundamental para reducir el impacto ambiental de esta actividad. A través de la medición y cuantificación de las emisiones de carbono, así como la identificación de medidas para su reducción, se busca avanzar hacia la fase de carbono neutralidad y contribuir a la protección del medio ambiente.

Por esta razón se propone para la empresa Titan Minerals SAS una mejora en su gestión ambiental para la medición e identificación de la huella de carbono en todos sus procesos y así también conocer el impacto generado durante sus actividades, todo esto con el fin de implementar medidas que sirvan para contrarrestar la generación de CO<sub>2</sub> y proponer la reducción y mitigación, convirtiéndose así en una empresa ambientalmente sostenible.

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

### **1.1 TEMA**

Propuesta para implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Hablar acerca del fenómeno del cambio climático implica considerar todas las ramificaciones que tiene para la humanidad. Este fenómeno se presenta como una crisis que nos obliga a examinar y explorar los riesgos y peligros que enfrentan diversos países. González & Meira (2020), afirma que las actividades humanas en sectores como la industria, el comercio, el ámbito doméstico, el transporte y otros factores externos están aumentando de manera desenfrenada las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos procesos están provocando cambios significativos en el clima.

Ecuador, una nación en vías de desarrollo, está experimentando una considerable afectación ambiental debido a varias actividades, entre las cuales se incluye la construcción de infraestructuras que van desde viviendas pequeñas hasta proyectos de gran envergadura. Estas actividades están causando perturbaciones en el entorno natural y generando consecuencias perjudiciales para el medio ambiente.

La industria minera ha experimentado un aumento significativo en su expansión en los últimos años, y con ello, se ha observado un incremento anual en el consumo de energía en este ámbito (Milena *et al.*, 2021). Como consecuencia directa de este crecimiento, se ha producido una considerable liberación de sustancias contaminantes

al ambiente. En este sector, cabe resaltar la utilización de combustibles para actividades como la extracción y el transporte de minerales, así como el notable incremento en el consumo de electricidad en instalaciones como las plantas de procesamiento, las áreas de molienda, trituración y el bombeo de minerales. Estos aspectos, en conjunto, constituyen una de las fuentes más relevantes de la emisión de gases de efecto invernadero.

La industria minera es conocida por su significativo impacto económico en los países, lo que suscita un marcado interés en este sector, no obstante, tal como se ha mencionado previamente, su influencia en el entorno natural es notable ya que, en todas las etapas del proceso, desde la prospección y exploración hasta la explotación, refinamiento de metales, comercialización y eventual cierre, se liberan diversos gases con potencial efecto invernadero (Ortega *et al.*, 2020).

En el caso específico de Ecuador, el informe del Ministerio del Ambiente referente al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de 2016 revela que la industria de metales y minerales generó 4.571,72 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente (siendo 1 Gg equivalente a 1000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>) durante el periodo de 1994 a 2012. Esto representa el 5,62% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> en el país. En Ecuador, las concesiones mineras contribuyen de manera significativa al aumento de gases de efecto invernadero debido a la eliminación de la cobertura vegetal y al uso de combustibles en diversas maquinarias. Además, se suma la emisión directa de CO<sub>2</sub> durante el procesamiento de minerales.

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente desempeña un papel fundamental en la promoción de estrategias dirigidas a mitigar el cambio climático, el Acuerdo Ministerial Nro. MAAE-2021-018 ha establecido directrices y criterios técnicos con el propósito

de lograr un desarrollo sostenible en relación con el clima (Ministerio del Ambiente, 2021). Estas directrices fomentan que diversas organizaciones, ya sean de carácter privado, público o mixto, tanto nacionales como extranjeras, y que estén legalmente constituidas, tomen medidas concretas frente al cambio climático. El enfoque principal es encontrar formas sostenibles de utilizar recursos y servicios, así como de llevar a cabo actividades productivas. Esto se logra a través de la medición y control de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, su neutralización y reducción.

Paralelamente, estas iniciativas contribuyen a la captura de carbono y tienen como objetivo disminuir la degradación forestal y la deforestación. Además, se fomenta la prestación de servicios ambientales y se promueve la conservación y recuperación de los ecosistemas. La Huella de Carbono se vincula directamente a uno de los propósitos establecidos por la ONU en sus ODS u Objetivos de Desarrollo Sostenible, se hace referencia concretamente al objetivo número 13: "Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos" (Murga, 2020). Uno de los objetivos fundamentales es establecer estrategias coherentes con el cambio climático dentro de los planes y políticas nacionales.

Frente a esta situación, las compañías mineras deberían orientar sus esfuerzos hacia la disminución y contrarresto de los impactos de los gases de efecto invernadero (GEI), presentando opciones que conduzcan a la reducción de gastos, al aumento de la competitividad y a la mejora de su imagen en términos de responsabilidad social (Mansilla *et al.*, 2022).

La preocupación por el cambio climático y sus efectos perniciosos ha impulsado la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles en diversos sectores industriales, incluida la minería. El presente ensayo se centra en el problema que enfrenta la

empresa Titan Minerals SAS al carecer de una propuesta para la implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en su proyecto de pequeña minería en la etapa de exploración. Esta carencia plantea un conjunto de desafíos ambientales, legales, competitivos y de imagen que deben ser abordados de manera urgente y efectiva.

La etapa de exploración minera es esencial en la identificación y evaluación de recursos, pero también conlleva emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global y la degradación ambiental. La ausencia de una propuesta para alcanzar la Carbono Neutralidad en esta fase puede tener ramificaciones significativas (Horta & García, 2023).

Desde una perspectiva ambiental, el no abordar las emisiones de GEI puede agravar el impacto negativo del proyecto en el entorno. La minería suele estar bajo escrutinio público debido a su historial de deterioro ambiental, y la falta de acciones concretas podría perpetuar esta imagen negativa.

Afonso *et al.* (2019), consideran que, en términos legales y regulatorios, la carencia de una estrategia para reducir las emisiones puede exponer a la empresa a sanciones y multas por incumplimiento de normativas ambientales, a medida que las regulaciones se vuelven más estrictas, la falta de cumplimiento puede resultar en costos financieros considerables.

Desde un punto de vista competitivo, las empresas que adoptan prácticas sostenibles tienen una ventaja creciente en el mercado. La falta de una propuesta de Carbono Neutralidad puede hacer que "Titan Minerals SAS" pierda oportunidades comerciales y de inversión, ya que los inversores y socios comerciales están cada vez más interesados en proyectos alineados con la sostenibilidad.

La responsabilidad social y la imagen corporativa también se ven afectadas, en un mundo donde la conciencia ambiental es alta, la falta de compromiso con la reducción de GEI puede erosionar la confianza de los Stakelholderes y socavar la reputación de la empresa (Montoya *et al.*, 2022).

La carencia de una propuesta para la implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en el proyecto de pequeña minería de “Titan Minerals SAS” plantea una serie de problemas ambientales, legales, competitivos y de imagen. Para abordar estos desafíos, la empresa debe considerar la adopción de estrategias concretas que permitan reducir y compensar las emisiones de GEI, al tiempo que fomenten la sostenibilidad y la responsabilidad social. Solo mediante un enfoque proactivo en la mitigación del cambio climático y la promoción de prácticas respetuosas con el medio ambiente, “Titan Minerals SAS” podrá enfrentar estos desafíos y asegurar su éxito a largo plazo en un contexto de creciente conciencia ambiental y sostenibilidad.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar una propuesta para implementación de la primera fase de Carbono Neutralidad en un proyecto de pequeña minería en fase de exploración.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- i. Cuantificación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que permita el cálculo de la Huella de Carbono de un proyecto de pequeña minería en fase de exploración.
- ii. Determinar los indicadores ambientales que nos permitan proponer acciones de mejora e identificar las oportunidades de disminución de la Huella de Carbono.
- iii. Plantear las medidas de compensación aplicables para alcanzar la neutralidad.

## 1.4 METODOLOGÍA

### 1.4.1 Tipo de estudio

En la era actual, la creciente conciencia sobre el cambio climático ha impulsado a diversas industrias a considerar enfoques más sostenibles para sus operaciones. La minería, una industria conocida por sus impactos ambientales, se enfrenta al desafío de reducir su huella de carbono. El estudio propuesto se enmarca en un enfoque no experimental y adopta una perspectiva mixta, que integra elementos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión holística y profunda del problema.

**Cualitativo:** El componente cualitativo del estudio se centra en explorar las percepciones, opiniones y experiencias de diversos actores clave, como expertos en la industria minera, Stakelholderes, equipos de gestión y otros interesados (Musso & Suazo, 2019). Mediante entrevistas en profundidad y grupos focales, se recopilarán datos cualitativos que revelarán los desafíos, oportunidades y consideraciones éticas relacionadas con la implementación de medidas de Carbono Neutralidad en la fase de exploración. Tales datos aportarán un contexto valioso para la toma de decisiones y la identificación de barreras potenciales.

**Cuantitativo:** En el componente cuantitativo, se recopilarán datos numéricos objetivos para respaldar y complementar las percepciones cualitativas. Lo cual abarcará la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero durante la fase de exploración, los costos estimados de implementación de tecnologías más limpias, el impacto proyectado en la reducción de emisiones y otros datos relevantes (Milena *et al.*, 2021). El análisis cuantitativo proporcionará una base sólida para evaluar la viabilidad financiera y ambiental de las propuestas de Carbono Neutralidad.

El enfoque mixto aporta múltiples ventajas, primero, permite una comprensión profunda al combinar la riqueza de las perspectivas cualitativas con la precisión de los datos cuantitativos. Segundo, el enfoque mixto ofrece la oportunidad de validar y complementar los hallazgos de ambos tipos de datos, lo que aumenta la confiabilidad de los resultados. Finalmente, la combinación de datos cualitativos y cuantitativos ofrece una imagen más completa del problema, lo que facilita una toma de decisiones informada y estratégica.

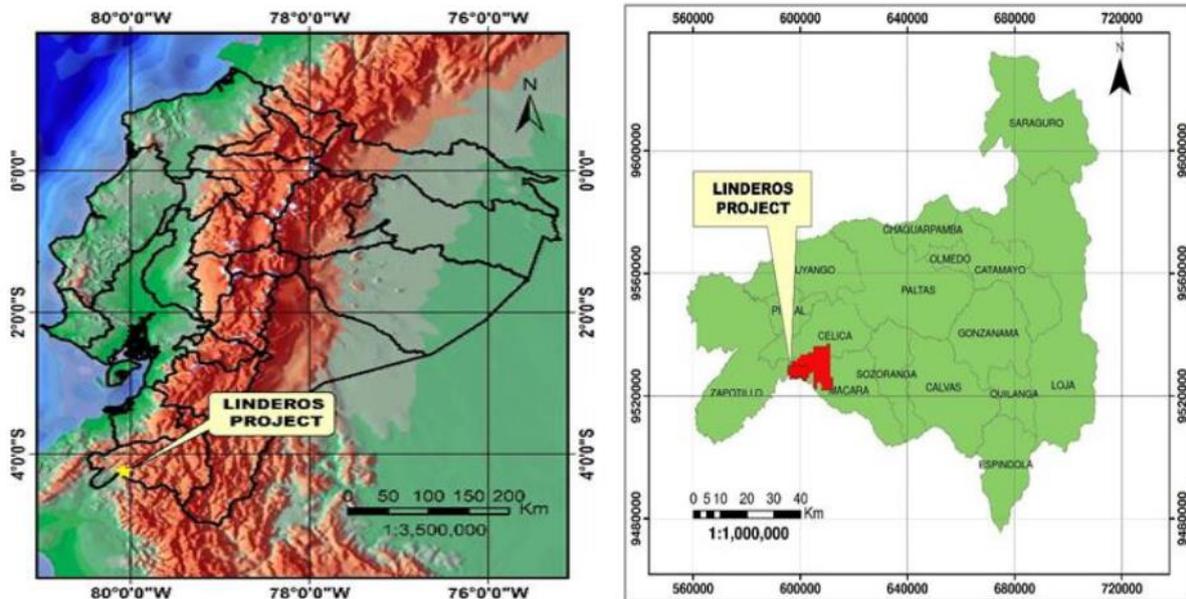
El estudio propuesto para la implementación de Carbono Neutralidad en la fase de exploración minera se beneficiaría de un enfoque mixto, que combina métodos cualitativos y cuantitativos. La metodología mixta proporciona una comprensión completa y rigurosa de los desafíos, oportunidades y consideraciones asociadas con la propuesta (André & Valenciano, 2022). Al integrar la perspectiva humana y los datos concretos, este enfoque respaldaría la toma de decisiones informadas y sostenibles en el contexto de la minería responsable y el compromiso con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

#### **1.4.2 Lugar de estudio**

El proyecto minero Linderos se localiza en los cantones Céllica, Macará y Zapotillo, que se encuentran situados en la Provincia de Loja, al extremo sur del territorio ecuatoriano. Esta área geográfica, de gran importancia económica y ambiental, se enmarca en un contexto caracterizado por su rica biodiversidad y su relevancia cultural en la región.

**Figura 1**

Mapa de ubicación política del proyecto Linderos



Nota: La figura muestra la ubicación del proyecto minero Linderos que se localiza en los cantones Célida, Macará y Zapotillo.

### **1.4.3 Metodología para el cálculo de la huella de carbono, medidas de reducción, medidas de compensación y neutralidad**

En un mundo en constante evolución y con la creciente preocupación por el cambio climático, la medición de la huella de carbono y la implementación de medidas para su reducción y compensación se han convertido en elementos esenciales en la búsqueda de la sostenibilidad (Poma, 2018). Este ensayo abordará la metodología para calcular la huella de carbono, así como las estrategias que engloban medidas de reducción, compensación y eventual neutralidad, con el objetivo de fomentar prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente.

## **Cálculo de la Huella de Carbono:**

La medición precisa de la huella de carbono implica cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a una actividad, proceso o producto (Ramírez & Chavarría, 2019). Esta medición comprende tres alcances:

Alcance 1: Incluye las emisiones directas, como la quema de combustibles fósiles en vehículos y maquinaria.

Alcance 2: Abarca las emisiones indirectas derivadas de la generación de energía utilizada por la organización, como la electricidad comprada de la red.

Alcance 3: Engloba las emisiones indirectas a lo largo de la cadena de suministro, que pueden incluir la producción de materias primas, el transporte y el uso de productos.

**Medidas de Reducción:** Una vez se ha determinado la huella de carbono, se pueden implementar medidas de reducción con el propósito de minimizar las emisiones de GEI. Las medidas de reducción pueden variar desde la optimización de procesos y la adopción de tecnologías más limpias hasta la promoción del uso eficiente de recursos, de ahí que un enfoque multidisciplinario es clave para identificar oportunidades concretas para disminuir la huella de carbono (Galindo *et al.*, 2022).

**Medidas de Compensación:** Las medidas de compensación se enfocan en contrarrestar las emisiones no eliminadas a través de proyectos que absorben o evitan la misma cantidad de CO<sub>2</sub> liberado. Ejemplos de esto incluyen la reforestación, la captura de carbono y la inversión en proyectos de energía renovable. Estas acciones

permiten que las organizaciones equilibren su impacto en el ambiente, creando un balance entre emisiones y absorción.

**Logro de la Neutralidad de Carbono:** El logro de la neutralidad de carbono implica compensar todas las emisiones generadas por una organización o actividad. Para alcanzar este objetivo, es esencial combinar medidas de reducción y compensación de manera efectiva. Las estrategias pueden variar según las características y recursos de cada organización, pero la colaboración entre los sectores público y privado es vital para acelerar la transición hacia una economía baja en carbono.

La metodología para calcular la huella de carbono y la implementación de medidas de reducción, compensación y eventual neutralidad representan pasos esenciales hacia una sociedad más sostenible y resiliente al cambio climático (Lin *et al.*, 2023). Dichas prácticas no solo contribuyen a la mitigación de los efectos ambientales negativos, sino que también impulsan la innovación y la responsabilidad corporativa, en un contexto global donde la acción climática es imperativa, estas estrategias son herramientas poderosas para forjar un futuro más verde y próspero.

#### **1.4.4 Determinación de los indicadores ambientales y medidas de compensación**

La Huella de Carbono se logra determinar por medio de indicadores, de tal forma que las emisiones de GEI ya sean directas o indirectas están sujetos a medición ya sea por métodos, herramientas y/o a través de softwares, elaboradas por entidades gubernamentales o particulares (Cancino, 2022).

Las medidas aplicables serán determinadas una vez obtenida la información relevante del proceso para esto será importante contemplar en qué etapa se encuentra el proyecto minero de acuerdo con el área de estudio, la disponibilidad de recursos, periodo propuesto para alcanzar la neutralidad, factores sociales y demás actores identificados durante la fase de elaboración del presente estudio.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El cambio climático y el crecimiento exponencial de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han llevado a las industrias a repensar sus métodos y técnicas de producción. El sector minero, que históricamente ha sido criticado por sus consecuencias ambientales, no está exento de esta responsabilidad (Arteaga & Burbano, 2018). A pesar de que el tamaño de una operación pueda parecer menor, como es el caso de la pequeña minería, es crucial considerar prácticas sostenibles desde el inicio del proyecto. Por ello, la implementación de un plan para alcanzar la carbono neutralidad desde la fase de exploración es no solo oportuna, sino también necesaria.

La comunidad científica es unánime al afirmar que la reducción de emisiones de GEI es esencial para frenar el calentamiento global y sus consecuencias, en este contexto, cada sector debe contribuir para lograr el objetivo global. Maroto (2021), destaca que la pequeña minería, aunque no comparable en escala con grandes corporaciones mineras, puede ser pionera en la implementación de prácticas que busquen minimizar su huella de carbono desde el principio.

Más allá de la responsabilidad ambiental, adoptar prácticas sostenibles puede generar beneficios económicos a largo plazo. La anticipación a posibles regulaciones sobre emisiones, la reducción de costos operativos relacionados con el consumo

energético, y el acceso a mercados más ecológicamente conscientes, son algunas de las ventajas económicas que la pequeña minería puede disfrutar al adoptar prácticas de carbono neutralidad.

El consumidor moderno valora y premia a las empresas comprometidas con la sostenibilidad. La pequeña minería tiene una oportunidad única de posicionarse como líder en prácticas ecológicas, generando no solo beneficios económicos, sino también construyendo una imagen de responsabilidad y compromiso.

El crecimiento de la conciencia ambiental ha llevado a gobiernos de todo el mundo a establecer regulaciones más estrictas sobre emisiones y prácticas sostenibles. Al adoptar medidas de carbono neutralidad desde el inicio, los proyectos de pequeña minería pueden asegurarse de cumplir con futuros estándares y evitar posibles sanciones (Roca *et al.*, 2019).

El cambio climático no solo es una amenaza ambiental sino también operativa. Fenómenos climáticos extremos pueden afectar la continuidad y viabilidad de operaciones mineras. Implementar prácticas de sostenibilidad desde la fase de exploración asegura una mayor resiliencia frente a estos desafíos.

André & Valenciano (2022), destacan que la propuesta para implementar la primera fase de Carbono Neutralidad en proyectos de pequeña minería en fase de exploración no solo responde a un imperativo ambiental, sino que también brinda una ventaja competitiva, económica y de reputación, siendo abordada como una inversión en el futuro del planeta y en la viabilidad a largo plazo de la industria minera.

## 1.6 PRINCIPALES DEFINICIONES

**Beneficios Económicos de la Sostenibilidad:** Ventajas económicas derivadas de la implementación de prácticas sostenibles, que pueden incluir ahorro en costos, acceso a nuevos mercados, entre otros.

**Buenas Prácticas:** Incluyen la minimización de impactos ambientales, participación comunitaria, manejo responsable de recursos, entre otros.

**Carbono Neutralidad (Neutralidad de Carbono):** Estado en el que una empresa, individuo, producto o servicio equilibra sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con su remoción o compensación a través de diferentes medios, logrando un balance neto de cero emisiones (Guo *et al.*, 2023).

**Compensaciones de Carbono:** Acciones que reducen emisiones de carbono en un lugar para balancear emisiones en otro, como podría ser a través de la reforestación, inversión en energías limpias, entre otros.

**Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):** Proceso que identifica y evalúa los posibles impactos ambientales de un proyecto propuesto.

**Fase de Exploración:** Primera etapa en un proyecto minero donde se investiga la viabilidad de una zona para la extracción de minerales. Incluye estudios geológicos, muestreo, entre otros (Barra *et al.*, 2020).

**Fuentes en Minería:** Las actividades mineras, como la utilización de maquinaria y procesos industriales, pueden liberar GEI, lo cual contribuye al cambio climático.

**Gases de Efecto Invernadero (GEI):** Gases que contribuyen al efecto invernadero al capturar el calor en la atmósfera. Los principales GEI incluyen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Olcina, 2020).

**Impacto Ambiental:** Cambio en el ambiente, ya sea adverso o beneficioso, que resulta total o parcialmente de actividades, productos o servicios humanos.

**Pequeña Minería:** Actividad minera que, en comparación con la minería a gran escala, tiene menor impacto territorial, menor inversión y capacidad de producción, y suele estar enfocada en minerales específicos (Ortega *et al.*, 2020).

**Regulaciones Ambientales:** Normativas y leyes establecidas por entidades gubernamentales con el fin de proteger el ambiente. Estas pueden incluir límites sobre emisiones, requerimientos de sostenibilidad, entre otros.

**Sostenibilidad en Minería:** Enfoque que busca que las actividades mineras se realicen de manera que no comprometan la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.

## 1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.7.1 Alcance

La provincia de Loja, en particular los cantones de Célica, Macará y Zapotillo, presentan características geográficas y climáticas únicas que pueden influir en las emisiones y absorciones de carbono. El entorno geográfico del sur de Ecuador ofrece una diversidad de ecosistemas que pueden ser afectados o beneficiados por las operaciones mineras.

La Huella de Carbono es una métrica que refleja la cantidad total de gases de efecto invernadero producidos directa o indirectamente por actividades humanas. En el caso del proyecto Linderos, es esencial entender no sólo las emisiones directas provenientes de las operaciones, sino también las indirectas, que pueden surgir de la cadena de suministro o el transporte.

La propuesta que se busca formular tiene un enfoque holístico, el reconocimiento implica una aceptación y conciencia de las emisiones generadas. De esta forma el control se refiere a la supervisión y regulación de dichas emisiones, la reducción se enfocará en implementar prácticas y tecnologías que disminuyan la cantidad de GEI liberados a la atmósfera. Finalmente, la compensación podría involucrar prácticas como la reforestación o inversión en tecnologías limpias para contrarrestar las emisiones producidas.

Alcanzar la Neutralidad de Carbono se revela como un proceso que requiere tiempo y esfuerzo continuo, no se trata sólo de compensar las emisiones una vez, sino de mantener un equilibrio a lo largo de la vida del proyecto (Ramírez & Chavarría, 2019). Por ello, este estudio también proyectará un plan a mediano y largo plazo, considerando variables como cambios en la operación, crecimiento del proyecto y evoluciones en la tecnología disponible.

González & Meira (2020), consideran que con el crecimiento global de la conciencia ambiental, iniciativas como esta no solo benefician al medio ambiente, sino que también pueden ofrecer ventajas competitivas al proyecto, como mejor reputación y potencial acceso a mercados más sostenibles o certificaciones ecológicas. Por lo tanto, este estudio representa un paso adelante hacia un futuro más sostenible y responsable en la industria minera.

## 1.7.2 Limitaciones

Dentro de las limitaciones que podemos destacar de la presente investigación es la falta de datos precisos y confiables sobre la cuantificación de emisiones de GEI, la reducida disponibilidad de estos datos representa una barrera al momento de ejecutar un estudio de huella de carbono. Se puede mencionar pocas empresas en Latinoamérica con certificación en Huella de Carbono:

En Ecuador, la empresa minera Lundin Gold, que opera la mina Fruta del Norte, ha obtenido la certificación ISO 14064-1 en huella de carbono. La compañía ha implementado diversas medidas para reducir su impacto ambiental, como la instalación de paneles solares que eliminan el consumo de hidrocarburos y la emisión de GEI.

En Perú, la minera Cerro Verde, propiedad de Freeport-McMoRan, ha sido certificada en huella de carbono por el Ministerio del Ambiente del país. La compañía ha efectuado una serie de iniciativas de sostenibilidad que incluyen una gestión eficiente que reduce las emisiones de GEI, la gestión eficiente del agua y la preservación de la biodiversidad en su área de influencia.

En Colombia, la minera Cerrejón, propiedad de BHP, Anglo American y Glencore, ha obtenido la certificación de huella de carbono bajo el estándar ISO 14064-1. La compañía ha implementado una serie de iniciativas para reducir sus emisiones, como la optimización de la eficiencia energética en sus operaciones, el impulso del uso de vehículos eléctricos y la gestión sostenible de residuos.

Otra limitación es la disponibilidad limitada de recursos para realizar estudios de huella de carbono. Muchas empresas y organizaciones en Ecuador pueden tener

dificultades para invertir en el sondeo del carbono debido a los costos asociados con la contratación de consultores y la adquisición de equipos y software especializados.

La poca capacitación y experiencia en la medición de la huella de carbono también puede ser una limitación importante, de esta forma es importante destacar que se requiere personal capacitado y con experiencia en el uso de metodologías estandarizadas y software especializado para realizar estudios de huella de carbono precisos y confiables (Galindo *et al.*, 2022). Adicionalmente se puede mencionar como limitante el tiempo de estudio en el cual se desarrollará el trabajo, siendo muy poco para poder desarrollar un estudio completo, sin embargo, puede servir como base para futuros estudios similares.

Este tiempo restringido podría impedir un análisis exhaustivo de todas las variables o factores implicados. Más aún si se toma en cuenta que, la complejidad de la dinámica de las emisiones de carbono en el entorno minero puede requerir un periodo de observación más largo para capturar las variaciones estacionales o las anomalías. Ortega *et al.* (2020), señala que ciertas prácticas o tecnologías que podrían ser propuestas para la reducción de emisiones podrían necesitar un periodo más extenso para su evaluación en términos de eficiencia y viabilidad.

La recolección de datos también puede verse afectada por esta limitación de tiempo, ya que no se podrá capturar una muestra lo suficientemente amplia o representativa de todas las operaciones del proyecto minero. La interpretación de estos datos, entonces, debe hacerse con precaución, reconociendo que pueden no representar el panorama completo.

No obstante, a pesar de estas limitaciones, el valor del estudio reside en su capacidad para iniciar un proceso de reflexión y acción en torno a la carbono neutralidad. Aun cuando no se logre una comprensión total del escenario, el simple hecho de comenzar a medir, analizar y proponer ya sitúa al proyecto Linderos en una dirección positiva hacia la sostenibilidad.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Minería sostenible y mitigación de emisiones de carbono**

La minería sostenible se refiere a la práctica de extraer minerales y recursos de manera responsable, teniendo en cuenta tanto los aspectos económicos como los sociales y ambientales. La mitigación de emisiones de carbono es un componente fundamental de la minería sostenible, ya que busca reducir o neutralizar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante las operaciones mineras y a lo largo del ciclo de vida completo de un proyecto minero (Rinaldi, 2023).

La minería sostenible se basa en tres pilares interconectados: el económico, el social y el ambiental. Se busca equilibrar la rentabilidad económica con el bienestar social y la conservación del medio ambiente. Implica la planificación y gestión de la extracción de minerales de manera que se minimicen los impactos negativos sobre las comunidades locales, la biodiversidad y los ecosistemas.

La minería sostenible involucra a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones y busca generar beneficios tangibles para ellos, como empleo, infraestructura y desarrollo económico. Después de la explotación minera, se busca rehabilitar y restaurar las áreas afectadas para que puedan volver a ser utilizadas de manera productiva o conservada en su estado natural.

La minería puede ser una fuente considerable de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>), debido a la liberación de gases atrapados en el suelo y la combustión de combustibles fósiles para operar maquinaria y equipos. Dado el impacto global del cambio climático, la industria minera reconoce la importancia de mitigar estas emisiones para contribuir a los objetivos climáticos internacionales y limitar el calentamiento global. Las medidas para lograr esta mitigación incluyen la adopción de tecnologías más limpias, la integración de energías renovables, la optimización de la eficiencia energética y la implementación de prácticas de captura y almacenamiento de carbono (Paredes, 2023).

### **2.1.1 Herramientas para la minería sostenible y la mitigación de emisiones:**

La minería sostenible y la mitigación de emisiones de carbono adquieren un rol fundamental en la reducción del impacto adverso de la industria minera sobre el entorno y las comunidades vecinas. Araujo & Cuello (2018), consideran que a través de la adhesión a estándares y certificaciones establecidos por organismos como el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM), se establece un marco para una operación responsable que incluye la gestión de emisiones de carbono.

La evaluación exhaustiva de las emisiones de carbono a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto minero, mediante el análisis de ciclo de vida, se erige como una herramienta vital para identificar áreas de mejora y oportunidades de reducción del impacto ambiental. El camino hacia la mitigación se ve acelerado por la incorporación de innovaciones tecnológicas, como la adopción de maquinaria más eficiente y el aprovechamiento de energías renovables, que se traducen en una disminución significativa de las emisiones de carbono.

Además, la implicación activa de la comunidad local y los Stakeholders juega un papel trascendental al brindar una plataforma para abordar preocupaciones ambientales y sociales, influyendo directamente en la definición de estrategias de mitigación. La minería sostenible y la reducción de emisiones de carbono amalgaman prácticas responsables y tecnologías limpias, permitiendo a la industria minera contribuir de manera efectiva en la lucha contra el cambio climático y en la promoción del desarrollo sostenible (Machuca, 2023).

### **2.1.2 Pilares fundamentales de la minería sostenible**

La minería sostenible implica un enfoque integral que equilibra aspectos económicos, sociales y ambientales, y busca garantizar que las actividades mineras sean beneficiosas a largo plazo para todas las partes involucradas y para el entorno en el que se llevan a cabo (Astorga & Valdés, 2021). Vargas, (2021) menciona que los pilares fundamentales de la minería sostenible son:

***Pilar Económico:*** La minería sostenible debe ser económicamente viable y generar beneficios tanto para las empresas mineras como para las comunidades y las economías locales. Esto implica maximizar los ingresos y minimizar los costos de manera responsable. La inversión en tecnologías más eficientes y la gestión adecuada de los recursos contribuyen a la sostenibilidad económica.

***Pilar Social:*** Este pilar se enfoca en el bienestar de las comunidades locales y en el respeto de los derechos humanos. La minería sostenible involucra a las comunidades en la planificación y toma de decisiones, garantiza condiciones laborales seguras y justas para los trabajadores, y contribuye al desarrollo socioeconómico de las regiones donde opera.

**Pilar Ambiental:** La minería sostenible tiene como objetivo reducir al mínimo los impactos negativos en el medio ambiente, lo cual abarca la conservación de la biodiversidad, la protección del agua y los suelos, la mitigación de la contaminación y la adopción de prácticas de rehabilitación y restauración de áreas afectadas (Mansilla *et al.*, 2022).

Estos tres pilares están interconectados y deben abordarse de manera conjunta para lograr una minería verdaderamente sostenible. Por ejemplo, un enfoque social sólido puede mejorar la relación entre las empresas mineras y las comunidades locales, lo que a su vez puede conducir a un apoyo más sólido para las operaciones y a una cooperación más efectiva en la mitigación de impactos ambientales. De manera similar, un enfoque ambiental adecuado puede prevenir conflictos sociales y económicos a largo plazo.

La minería sostenible reconoce que los recursos minerales son finitos y que su extracción debe realizarse de manera cuidadosa y responsable para minimizar los efectos negativos en el presente y en el futuro (Carrasco, 2019). Para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente y el bienestar social, es crucial adoptar prácticas de minería sostenible respaldadas por una planificación adecuada, tecnologías innovadoras y el compromiso activo de todas las partes interesadas.

### **2.1.3 Impactos ambientales de la minería en fase de exploración: deforestación, emisiones de gases de efecto invernadero, degradación del suelo y agua**

La fase de exploración en proyectos mineros, aunque no implica una extracción masiva de minerales, puede tener impactos ambientales significativos. Estos impactos pueden ser el resultado de actividades como la construcción de infraestructuras, la

perforación de sondeos y el movimiento de tierras en busca de depósitos minerales. Cury, (2020) señala que algunos de los impactos ambientales más comunes durante esta fase incluyen:

***Deforestación y Pérdida de Biodiversidad:*** Durante la fase de exploración, se pueden llevar a cabo actividades que involucran la tala de árboles y la destrucción de hábitats naturales. La pérdida de vegetación puede afectar la biodiversidad local al eliminar refugios y fuentes de alimento para la fauna silvestre. Además, la eliminación de la vegetación puede aumentar el riesgo de erosión y degradación del suelo.

***Emisiones de Gases de Efecto Invernadero:*** La fase de exploración puede generar emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente si se utiliza maquinaria o vehículos que funcionan con combustibles fósiles. La quema de estos combustibles libera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático.

***Degradación del Suelo y Contaminación del Agua:*** La actividad de exploración, como la perforación y el movimiento de tierras, puede causar la compactación del suelo y la alteración de su estructura natural (Poma, 2018). Tal fenómeno incide negativamente en la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, lo que a su vez puede aumentar el riesgo de erosión y pérdida de fertilidad. Además, los productos químicos utilizados en la exploración, como los lubricantes y los fluidos de perforación, pueden contaminar el suelo y el agua subterránea si no se manejan adecuadamente.

***Alteración de Cursos de Agua y Hábitats Acuáticos:*** La construcción de infraestructuras y la manipulación del terreno durante la exploración pueden modificar los cursos de agua y causar la sedimentación de los cuerpos de agua. Esto puede

tener impactos negativos en la calidad del agua y en los hábitats acuáticos, lo que a su vez afecta a la fauna y flora acuáticas.

**Impactos Visuales y Culturales:** Las actividades de exploración pueden cambiar drásticamente el paisaje, alterando la estética natural y afectando a las comunidades locales que dependen del entorno para su identidad cultural y bienestar (Marrero *et al.*, 2019).

La mitigación de estos impactos en la fase de exploración es esencial para avanzar hacia la minería sostenible. Esto puede lograrse mediante la implementación de prácticas de manejo ambiental rigurosas, la adopción de tecnologías limpias y la colaboración con las comunidades locales para minimizar los efectos negativos. Además, la evaluación ambiental y el monitoreo constante son cruciales para identificar los impactos y tomar medidas correctivas oportunas.

#### **2.1.4 Importancia de la mitigación de emisiones de carbono en la minería para cumplir objetivos climáticos globales (por ejemplo, Acuerdo de París)**

La mitigación de emisiones de carbono en la industria minera juega un papel crucial en la lucha contra el cambio climático y en la consecución de los objetivos climáticos globales establecidos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París (Lin *et al.*, 2023). A continuación, se destacan las razones por las cuales la minería debe comprometerse con la reducción de sus emisiones de carbono:

**Contribución a la Reducción de Emisiones Globales:** La minería es una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso de combustibles fósiles en equipos y maquinaria, así como a la liberación de gases atrapados en el suelo durante las operaciones. La reducción de estas emisiones

contribuye directamente a la disminución de la cantidad total de gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera (Benites, 2019).

**Cumplimiento de Acuerdos Internacionales:** El Acuerdo de París establece objetivos concretos para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 grados Celsius por encima de los niveles preindustriales, con esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 grados Celsius. La industria minera, como un importante emisor de carbono, debe desempeñar su parte para cumplir con estos objetivos y evitar impactos climáticos catastróficos (Loyola, 2019).

**Mejora de la Imagen Corporativa:** Las empresas mineras que demuestran un compromiso real con la mitigación de emisiones de carbono pueden mejorar su reputación y construir una imagen corporativa más positiva. Esto es especialmente relevante en un mundo donde la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental son cada vez más valoradas por los consumidores, inversores y comunidades (Cosme & Zapata, 2023).

**Resiliencia ante Regulaciones Futuras:** Las regulaciones ambientales y climáticas están evolucionando en todo el mundo, y es probable que en el futuro se implementen medidas más estrictas para reducir las emisiones de carbono. Las empresas mineras que toman medidas proactivas para reducir sus emisiones estarán mejor preparadas para cumplir con las futuras regulaciones y evitar posibles sanciones (Álamo & Cortés, 2023).

**Innovación y Eficiencia Operativa:** La búsqueda de tecnologías y prácticas para reducir las emisiones de carbono puede impulsar la innovación en la industria minera. La adopción de tecnologías más limpias y eficientes puede no solo reducir las

emisiones, sino también mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad (Rodríguez, 2023).

**Sostenibilidad a Largo Plazo:** La mitigación de emisiones no solo tiene beneficios inmediatos para el clima, sino que también contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de la industria minera. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y adoptar prácticas más responsables, la industria se vuelve más resiliente a los desafíos climáticos y económicos futuros.

La minería desempeña un papel crucial en la mitigación del cambio climático al reducir sus emisiones de carbono. Al comprometerse con la reducción de emisiones, la industria minera no solo contribuye a los objetivos climáticos globales, sino que también se beneficia al mejorar su imagen, su eficiencia operativa y su resiliencia a los cambios regulatorios y climáticos (Daza, 2023).

## **2.2 Fases de implementación de la Carbono Neutralidad en proyectos mineros**

En el proceso de establecer la Carbono Neutralidad en proyectos mineros, se trazan las líneas directrices que definen las distintas fases de implementación. Estas etapas estructuradas no solo constituyen un enfoque integral para la reducción de emisiones de carbono, sino también un marco estratégico que impulsa a la industria minera hacia la sostenibilidad ambiental y operativa.

Cada fase, desde la evaluación inicial hasta la verificación y certificación, se despliega como un pilar esencial en la ruta hacia la Carbono Neutralidad, encapsulando medidas progresivas y directrices claras que transforman las operaciones mineras convencionales en prácticas más responsables y respetuosas con el entorno.

### **2.2.1 Evaluación inicial: Identificación de fuentes de emisiones y análisis de ciclo de vida**

La evaluación inicial es un paso fundamental en el proceso de implementación de la Carbono Neutralidad en proyectos mineros, consiste en analizar detalladamente las fuentes de emisiones de carbono en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto minero (Maroto, 2021). Lo cual permite comprender dónde se generan las emisiones y cómo pueden ser mitigadas de manera efectiva. Dos componentes esenciales de esta fase son la identificación de fuentes de emisiones y el análisis de ciclo de vida.

**Identificación de Fuentes de Emisiones:** Se lleva a cabo un análisis exhaustivo para identificar las diversas actividades y operaciones que generan emisiones de gases de efecto invernadero en el proyecto minero. Esto puede incluir la quema de combustibles fósiles en maquinaria y equipos, la energía utilizada en las operaciones, el transporte de materiales, la gestión de residuos y más.

Cada fuente de emisiones se cuantifica en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que permite tener una visión clara de cuánto contribuye cada actividad al total de emisiones (V. Romero & Franco, 2023).

**Análisis de Ciclo de Vida (ACV):** El ACV es una herramienta que evalúa las emisiones de carbono a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final. Se consideran las emisiones directas e indirectas asociadas con la producción, transporte, uso y eliminación de productos y materiales utilizados en la minería.

El ACV ayuda a identificar los puntos clave en el ciclo de vida donde se generan las emisiones y a priorizar las áreas para la implementación de medidas de reducción. La evaluación inicial proporciona una visión completa de la huella de carbono del

proyecto minero y ayuda a las empresas a comprender dónde se encuentran las mayores oportunidades para reducir las emisiones.

Arteaga & Burbano (2018), destacan que el análisis del ciclo de vida posibilita la toma de decisiones informadas sobre qué estrategias de mitigación son más efectivas y eficientes en términos de costos. Identifica áreas específicas donde se pueden implementar tecnologías más limpias, energías renovables y mejoras en los procesos para reducir las emisiones. Facilita la elaboración de objetivos de reducción de carbono realistas y medibles.

La evaluación inicial es el punto de partida esencial para cualquier esfuerzo de implementación de la Carbono Neutralidad en proyectos mineros. Al identificar y cuantificar las fuentes de emisiones y analizar el ciclo de vida completo, las empresas están mejor equipadas para tomar medidas concretas que reduzcan la huella de carbono y avancen hacia una operación más sostenible desde el punto de vista ambiental y climático (Pardo, 2023).

### **2.2.2 Diseño y planificación: Establecimiento de metas y estrategias de reducción**

Una vez completada la evaluación inicial y comprendidas las fuentes de emisiones en el proyecto minero, la siguiente etapa es el diseño y la planificación. En esta fase, se establecen metas concretas de reducción de emisiones y se elaboran estrategias detalladas para lograr esos objetivos.

**Establecimiento de Metas:** Las metas deben ser específicas, medibles, alcanzables, relevantes y con límite de tiempo (metodología SMART). Por ejemplo, se podría establecer una meta de reducción del 20% de las emisiones de carbono en los próximos 5 años. Las metas deben reflejar tanto los objetivos de reducción a corto

plazo como la visión a largo plazo de alcanzar la neutralidad de carbono (Castillo et al., 2023).

**Elaboración de Estrategias de Reducción:** Se desarrollan estrategias detalladas para cada una de las fuentes de emisiones identificadas en la fase de evaluación inicial. Las estrategias pueden incluir la adopción de tecnologías más limpias, la mejora de la eficiencia energética, la optimización de procesos, la implementación de energías renovables y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. También se considera la posibilidad de reemplazar equipos y maquinaria obsoletos con modelos más eficientes desde el punto de vista energético.

**Planificación de Acciones y Recursos:** En la fase de diseño y planificación, se delinear de manera precisa las acciones específicas que se implementarán para ejecutar las estrategias de reducción de emisiones. Se asignan los recursos necesarios, tanto financieros como tecnológicos y humanos, para asegurar la ejecución exitosa de las estrategias trazadas.

Una parte fundamental de esta fase es la priorización y el establecimiento de un calendario. Las estrategias y acciones se evalúan y priorizan en función de su capacidad para reducir emisiones y su viabilidad técnica y financiera. Se define un cronograma detallado que indica cuándo se llevarán a cabo las distintas acciones a lo largo del tiempo.

Guo *et al.* (2023), consideran que el involucramiento de los Stakelholderes es un aspecto esencial de la planificación, situación que abarca la participación de todos los actores relevantes, como empleados, comunidades locales, inversores y reguladores. La colaboración y el compromiso de todas estas partes interesadas resultan fundamentales para el éxito de las estrategias de reducción de carbono.

La importancia de esta fase radica en que el diseño y la planificación estratégica aseguran la coherencia y enfoque de los esfuerzos para reducir emisiones, alineándolos con los objetivos de sostenibilidad de la empresa. Este enfoque previene soluciones fragmentadas y garantiza una asignación eficiente de recursos en las áreas más críticas. Además, la planificación estructurada mejora la capacidad de medir el progreso y ajustar las estrategias según sea necesario (Socola, 2023).

La fase de diseño y planificación se revela como una pieza angular para lograr con éxito la reducción de emisiones de carbono en proyectos mineros. La claridad en las metas, estrategias y acciones a implementar proporciona una guía efectiva para avanzar hacia la Carbono Neutralidad y cumplir con los imperativos climáticos a nivel global.

### **2.2.3 Implementación: Integración de tecnologías limpias y renovables en operaciones**

La fase de implementación materializa el momento en el que se ejecutan las estrategias y acciones meticulosamente planificadas con el propósito de reducir las emisiones de carbono en las operaciones mineras. En esta etapa, se produce la asimilación y la sinergia de tecnologías limpias y energías renovables, con el fin último de forjar una operación más sustentable desde perspectivas ambientales y climáticas (Correa, 2023).

La adopción de tecnologías limpias se constituye como un pilar fundamental en esta fase, materializando la sustitución de equipos y maquinaria obsoletos por modelos eficientes y de menor consumo energético. Además, la implementación de sistemas de gestión y control avanzados se traduce en la optimización de recursos como el agua y la energía, mientras que la búsqueda de soluciones tecnológicas

novedosas opera como un catalizador para reducir las emisiones en las diversas etapas de la operación minera.

La integración de energías renovables se revela como un componente esencial al instituir la implementación de sistemas de generación de energía a partir de fuentes limpias, como la solar, la eólica o la hidroeléctrica. A su vez, la instalación de paneles solares, aerogeneradores y tecnologías equivalentes para generar electricidad limpia fomenta una operación de menor impacto, mientras que la exploración de oportunidades para incorporar sistemas de almacenamiento de energía maximiza el aprovechamiento de la electricidad generada por fuentes renovables a lo largo del día.

La mejora de la eficiencia energética ocupa un espacio de relevancia al realizar mejoras tangibles en la eficiencia energética de instalaciones y equipos, con el objetivo de reducir el consumo de energía, de ahí que la implementación de sistemas de iluminación eficientes, soluciones avanzadas de climatización y gestión inteligente de la energía se despliega en toda la operación, mejorando la utilización de los recursos (Afonso et al., 2019).

La gestión de residuos y emisiones también cobra protagonismo al materializar prácticas de captura y reciclaje de gases de efecto invernadero liberados durante las operaciones. Además, la minimización de la liberación de metano en áreas de extracción de carbón o en depósitos de minerales impacta positivamente en la huella climática, mientras que la implementación de sistemas de tratamiento de aguas y gestión de residuos, orientados a minimizar la liberación de gases y productos contaminantes, contribuye al enfoque responsable (Caamaño, 2021).

La fase culmina con la instauración de un sistema de monitoreo continuo, permitiendo la evaluación de la eficacia de las tecnologías implementadas y su

contribución a la reducción de emisiones. Los datos recopilados posibilitan ajustes operativos y tecnológicos en función de los objetivos de reducción de carbono.

La fase de implementación configura un paso de envergadura en el sendero hacia la Carbono Neutralidad en proyectos mineros, de tal forma que la adopción de tecnologías limpias y energías renovables no solo consolida la reducción de emisiones de carbono, sino que además otorga una significativa contribución a la mitigación del cambio climático (Arteaga & Burbano, 2018). De manera concurrente, esta medida coadyuva al cumplimiento de metas de neutralidad de carbono y sostenibilidad, subrayando el compromiso y la competitividad de la empresa en un contexto de transformación y desafíos ambientales globales.

#### **2.2.4 Monitoreo y medición: Seguimiento continuo de emisiones y avance hacia la neutralidad**

La fase de monitoreo y medición es esencial para evaluar el progreso en la reducción de emisiones de carbono y asegurarse de que las estrategias implementadas estén teniendo el impacto deseado. Esta etapa implica la recolección y el análisis constante de datos relacionados con las emisiones y el avance hacia la Carbono Neutralidad.

**Sistema de Monitoreo Continuo:** Se establece un sistema de monitoreo que registra de manera regular y consistente las emisiones de gases de efecto invernadero en todas las áreas de la operación minera. Se recolectan datos sobre el consumo de energía, la producción de residuos, las emisiones directas e indirectas y otros indicadores clave (Dufey, 2020).

**Análisis de Datos:** Los datos recopilados se analizan para evaluar el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones y los avances hacia la

neutralidad de carbono. Se identifican tendencias, patrones y áreas donde es necesario realizar ajustes para mejorar el rendimiento.

**Comparación con Metas Establecidas:** Se comparan los datos de emisiones y los indicadores clave con las metas y objetivos establecidos en la fase de diseño y planificación. Esta comparación permite evaluar si las estrategias implementadas están funcionando según lo previsto y si es necesario hacer ajustes (Naranjo & Willaarts, 2020).

**Informes de Progreso:** Se generan informes periódicos que comunican el progreso en la reducción de emisiones y el avance hacia la Carbono Neutralidad. Estos informes son fundamentales para mantener a las partes interesadas informadas, incluidos empleados, comunidades locales, inversores y reguladores.

**Acciones Correctivas y Ajustes:** Si se identifican desviaciones significativas de las metas, se toman medidas correctivas y se ajustan las estrategias de reducción de emisiones según sea necesario. La flexibilidad para adaptarse a los cambios y optimizar las acciones es esencial para el éxito continuo en la reducción de carbono.

**Importancia:** El monitoreo y la medición proporcionan una visión en tiempo real del progreso en la reducción de emisiones y ayudan a mantener la transparencia y la responsabilidad en la implementación de estrategias (Valenciano *et al.*, 2023). Permite tomar decisiones basadas en datos y realizar cambios oportunos para garantizar que se logren las metas establecidas. El monitoreo continuo también brinda la oportunidad de identificar nuevas áreas de mejora y eficiencia.

La fase de monitoreo y medición es fundamental para garantizar que las acciones tomadas para reducir las emisiones de carbono estén dando resultados tangibles. Mediante la evaluación constante y la comparación con las metas

establecidas, las operaciones mineras pueden ajustar sus estrategias y avanzar de manera efectiva hacia la Carbono Neutralidad y la sostenibilidad climática.

### **2.2.5 Verificación y certificación: Procesos para asegurar la autenticidad de la Carbono Neutralidad**

Una vez implementadas las estrategias de reducción de emisiones y avanzado hacia la Carbono Neutralidad, es fundamental verificar y certificar los resultados obtenidos, evidenciándose de esta forma que la verificación y certificación son procesos críticos para garantizar la autenticidad y la transparencia de los esfuerzos realizados por la empresa minera (Mejía, 2019).

A través de la Verificación Independiente, se contrata a una entidad reconocida en el campo de la sostenibilidad y emisiones de carbono, la cual revisa y evalúa los datos recopilados, los informes de progreso y otros documentos relacionados con la reducción de emisiones. Luego, la Auditoría de Datos y Procesos cobra relevancia al llevar a cabo una exhaustiva revisión para asegurarse de la precisión y confiabilidad de los datos, así como para evaluar la consistencia y el cumplimiento de estándares en los procesos de medición, monitoreo y cálculo de emisiones (Pavez, 2022).

La Verificación prosigue conforme a estándares internacionales reconocidos, como el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) u otros específicos para la industria minera. Una vez que se confirma la autenticidad y el cumplimiento de los resultados, se emite una Certificación que valida el logro de la Carbono Neutralidad o el alcance de los objetivos de reducción de emisiones.

La Importancia de estos procesos es innegable, ya que brindan credibilidad a los esfuerzos de reducción de emisiones, aumentan la confianza de inversores, consumidores y comunidades en los compromisos de sostenibilidad de la empresa

minera, y contribuyen a fortalecer la credibilidad y reputación al demostrar la adhesión a estándares reconocidos en cuanto a reducción de carbono.

La verificación y certificación son pasos esenciales para asegurarse de que los esfuerzos de reducción de emisiones y la búsqueda de la Carbono Neutralidad en proyectos mineros sean auténticos y cumplan con los estándares internacionales (Valenciano *et al.*, 2023). Dichos procesos brindan confianza y credibilidad a las acciones implementadas, lo que es crucial para el éxito a largo plazo en la mitigación del cambio climático.

### **2.3 Herramientas y tecnologías disponibles para reducir la huella de carbono**

En el contexto de la búsqueda constante de prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la industria minera, resulta fundamental explorar y comprender las diversas Herramientas y Tecnologías disponibles para la reducción efectiva de la huella de carbono. Estas herramientas y avances tecnológicos representan piezas clave en el rompecabezas de la Carbono Neutralidad, proporcionando soluciones innovadoras que permiten a las empresas mineras abordar de manera proactiva los desafíos ambientales y climáticos que enfrentan.

#### **2.3.1 Uso eficiente de recursos: Gestión optimizada de agua y energía en operaciones**

La gestión eficiente de recursos, como el agua y la energía, desempeña un papel fundamental en la reducción de la huella de carbono y la promoción de la sostenibilidad en las operaciones mineras. Esta estrategia se centra en minimizar el consumo de recursos naturales y maximizar su utilización a través de prácticas y tecnologías avanzadas (Julca, 2022).

**Optimización del Uso del Agua:** Implementación de sistemas de recirculación y reutilización del agua en las operaciones mineras, reduciendo la demanda de agua fresca. A partir de la utilización de tecnologías de filtración y tratamiento de aguas residuales para purificar y reutilizar el agua en procesos como la separación de minerales. De tal forma que se logre una reducción efectiva de las pérdidas y fugas de agua a través de sistemas de monitoreo y mantenimiento eficaces (Musso & Suazo, 2019).

**Eficiencia Energética:** Adopción de tecnologías más eficientes y de menor consumo energético en maquinaria, equipos y sistemas de iluminación. Implementación de sistemas de gestión de energía que monitorean y optimizan el uso de electricidad y combustibles fósiles en tiempo real. Incorporación de soluciones de automatización y control avanzadas para minimizar el consumo energético en procesos clave.

**Energías Renovables:** Integración de sistemas de generación de energía renovable, como paneles solares y aerogeneradores, para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y el almacenamiento de energía renovable mediante baterías u otras soluciones para asegurar un suministro constante y estable (Rodríguez, 2021).

**Tecnologías de Control y Monitorización:** Utilización de sistemas de telemetría y sensores para recopilar datos en tiempo real sobre el consumo de recursos y las operaciones. Análisis de datos para identificar áreas de mejora y oportunidades de optimización en el uso de recursos.

**Capacitación y Concientización:** Capacitación de los empleados sobre prácticas y técnicas para un uso más eficiente de los recursos, promoviendo una

cultura de conservación. Concientización sobre la importancia de la gestión eficiente de recursos entre el personal y las partes interesadas.

**Beneficios:** Reducción del consumo de agua y energía, lo que se traduce en menores costos operativos y financieros, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y el uso de energía. Así como también la mejora de la resiliencia operativa al reducir la dependencia de recursos escasos o costosos y de igual forma el cumplimiento de regulaciones ambientales y una imagen corporativa más positiva.

Barría *et al.* (2020), consideran que la gestión eficiente de recursos, especialmente del agua y la energía, es un pilar fundamental en la reducción de la huella de carbono y en la promoción de la sostenibilidad en proyectos mineros, es plenamente procedente al adoptar tecnologías y prácticas que optimicen el uso de recursos, las operaciones mineras pueden contribuir significativamente a la reducción de emisiones y al logro de los objetivos climáticos globales.

### **2.3.2 Energías renovables: Integración de solar, eólica, hidroeléctrica, y otras fuentes limpias**

La integración de fuentes de energía renovable, como la solar, eólica, hidroeléctrica y otras alternativas limpias, emerge como una estrategia trascendental en la búsqueda de la Carbono Neutralidad y la sostenibilidad en proyectos mineros. La adopción de estas fuentes de energía limpias representa una oportunidad fundamental para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de energía y, por ende, a las operaciones mineras en su conjunto (Reynoso, 2022).

En esta línea, la incorporación de paneles solares fotovoltaicos se erige como una metodología eficaz para aprovechar la radiación solar y transformarla en electricidad. Esta forma de energía renovable puede ser empleada para alimentar diversos sistemas y equipos dentro de las instalaciones mineras, contribuyendo así a la diversificación de la matriz energética y al descenso de las emisiones.

Barra *et al.* (2020), destacan que la adopción de tecnología eólica, mediante la instalación de aerogeneradores, posibilita la conversión de la energía cinética del viento en electricidad. Tal iniciativa provee una alternativa sustentable para satisfacer las necesidades energéticas de la operación minera, al tiempo que reduce la dependencia de fuentes de energía convencionales con huellas de carbono significativas.

Asimismo, la consideración de fuentes hidroeléctricas se presenta como una opción en regiones con características geográficas adecuadas. La generación de energía hidroeléctrica a partir de fuentes de agua cercanas ofrece un enfoque efectivo para el suministro de electricidad en las operaciones mineras, sin los efectos negativos asociados a las emisiones de carbono.

Alfaro & Herrera (2023), destacan la importancia de explorar otras fuentes de energía renovable, como la biomasa y la geotérmica, así como las tecnologías emergentes que aprovechan las energías de las mareas y corrientes marinas. Estas alternativas pueden contribuir aún más a la reducción de la huella de carbono y a la consolidación de operaciones mineras más sostenibles desde el punto de vista ambiental.

Para garantizar un suministro energético constante y estable proveniente de fuentes renovables, es imperativo contemplar la implementación de sistemas de

almacenamiento de energía, como baterías. Esta tecnología permitirá el almacenamiento de excedentes de energía en momentos de alta generación, para su posterior utilización en periodos de menor producción (Barzola, 2020).

La adopción de energías renovables en proyectos mineros conlleva una serie de beneficios concretos, incluida la significativa reducción de emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la generación de energía (Roca *et al.*, 2019). De igual forma, se promueve la diversificación de la fuente energética, aumentando la resiliencia operativa y disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles con sus correspondientes impactos climáticos.

A pesar de los desafíos iniciales, como los costos de inversión y la viabilidad geográfica, la integración de energías renovables se presenta como una oportunidad estratégica y moral para la industria minera. Al contribuir a la promoción y adopción de energías limpias, la minería puede desempeñar un papel crucial en la lucha contra el cambio climático y en la consecución de los objetivos climáticos globales.

### **2.3.3 Tecnologías de electrificación: Adopción de maquinaria y equipos eléctricos en lugar de combustibles fósiles**

En el contexto de la industria minera, la transición hacia tecnologías de electrificación se erige como una aproximación de alta relevancia para la reducción de emisiones de carbono y la promoción de operaciones más sostenibles. Esta estrategia conlleva la gradual sustitución de la maquinaria y equipos convencionales impulsados por combustibles fósiles, por alternativas accionadas por electricidad. Este enfoque no solo alinea la operación minera con objetivos ambientales más ambiciosos, sino que también conlleva una serie de beneficios de carácter ambiental, económico y operativo (García, 2021).

La transición a equipos eléctricos implica una notable disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero, al eliminar directamente la combustión de hidrocarburos. Esta migración tiene un efecto directo en la reducción de la huella de carbono y, consecuentemente, en la contribución hacia la mitigación del cambio climático. Además, esta estrategia también conlleva beneficios tangibles para el entorno laboral, reduciendo la emisión de partículas y contaminantes atmosféricos, lo cual mejora la calidad del aire y la salud de los trabajadores.

Es relevante destacar la eficiencia inherente a los equipos eléctricos, los cuales suelen presentar niveles de eficiencia energética superiores a sus contrapartes de combustión interna, lo que puede resultar en una disminución global en el consumo de energía (Poveda, 2022). Aunque la inversión inicial en tecnologías de electrificación puede ser más sustancial, los beneficios económicos a largo plazo derivados de una menor dependencia de combustibles fósiles y de costos de operación reducidos a menudo compensan estos desembolsos iniciales.

El auge de tecnologías de almacenamiento energético, como las soluciones de baterías avanzadas, amplía aún más las posibilidades de electrificación en contextos donde la infraestructura energética es limitada. Estas innovaciones permiten la continuidad de operación de equipos eléctricos incluso en situaciones donde la fuente de energía convencional podría no ser viable (Cipagauta, 2022).

A pesar de los indudables beneficios, es importante reconocer los desafíos inherentes. La disponibilidad de infraestructura de carga eléctrica y la capacitación del personal para operar y mantener equipos eléctricos son aspectos que deben abordarse con diligencia. No obstante, el impacto positivo y la sostenibilidad a largo plazo que conlleva la adopción de tecnologías de electrificación justifican los esfuerzos para superar estos desafíos.

Carrasco (2019), considera que la adopción progresiva de tecnologías de electrificación en la minería representa un paso estratégico hacia la consecución de objetivos ambientales y climáticos. La reducción de emisiones, la mejora en la eficiencia operativa y los beneficios para la salud y el medio ambiente convergen para posicionar esta estrategia como una herramienta de suma relevancia en la construcción de un sector minero más sostenible y responsable.

#### **2.3.4 Captura y almacenamiento de carbono: Técnicas para capturar y almacenar emisiones**

En el marco de la búsqueda incesante de soluciones que propicien la Carbono Neutralidad y la atenuación de emisiones en la industria minera, la implementación de técnicas de captura y almacenamiento de carbono (CAC) emerge como una piedra angular en este propósito. Dicha estrategia enfocada tiene como objetivo central la captura y retención selectiva de gases de efecto invernadero, previniendo su liberación en la atmósfera, y su posterior almacenamiento en condiciones que garanticen su confinamiento a largo plazo.

La fase de captura involucra la instalación de sistemas diseñados para interceptar y extraer emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes de fuentes primarias, tales como procesos de combustión y operaciones de procesamiento (Mejía, 2019). En esta fase se hace referencia a las tecnologías avanzadas que permiten la extracción selectiva de CO<sub>2</sub> de corrientes gaseosas, como la captura de carbono post-combustión, pre-combustión y oxy-combustión.

La etapa subsiguiente comprende el transporte del CO<sub>2</sub> capturado hacia sitios de almacenamiento adecuados, que consisten en formaciones geológicas subterráneas, acuíferos salinos y yacimientos petroleros en desuso. La inyección

controlada de CO<sub>2</sub> en estas reservas subterráneas promueve su retención segura y duradera, reduciendo el riesgo de liberación a la atmósfera (Donoso, 2020).

Esta estrategia conlleva beneficios de alta significancia ambiental. En primer lugar, el proceso de captura y almacenamiento de carbono impacta directamente en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así al combate del cambio climático. Además, al limitar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se atenúa su influencia en el calentamiento global y sus concomitantes efectos adversos.

La aplicabilidad de las técnicas de CAC en el ámbito minero se manifiesta en la posibilidad de capturar el CO<sub>2</sub> liberado en procesos metalúrgicos y en la generación de energía dentro de las minas subterráneas. Esta adopción puede permitir a las operaciones mineras atenuar, en parte o en su totalidad, sus emisiones, acelerando su camino hacia la neutralidad de carbono y aportando al compromiso global con la sostenibilidad (Mezares, 2022).

No obstante, los invaluable beneficios, se identifican desafíos. La inversión inicial y los costos operativos vinculados a la implementación de sistemas de CAC pueden ser notables. La selección juiciosa de sitios de almacenamiento y el monitoreo constante son cruciales para garantizar la efectividad y seguridad a largo plazo de esta técnica.

El CAC ostenta un potencial futuro de envergadura, especialmente en sectores intrínsecamente desafiantes en su descarbonización, como la minería y la industria pesada. Paralelamente, la consideración de alternativas como la captura y uso de CO<sub>2</sub> (CCU), en la cual el CO<sub>2</sub> capturado se utiliza en la producción de bienes útiles, agrega una dimensión adicional al espectro de soluciones.

La integración de técnicas de captura y almacenamiento de carbono se erige como un pilar fundamental en la minería sostenible. Mediante la retención controlada de emisiones y su confinamiento, esta estrategia contribuye de manera palpable a la atenuación del cambio climático y a la consecución de metas de sostenibilidad en el ámbito minero y más allá.

### **2.3.5 Mejora de procesos: Desarrollo de métodos de extracción y procesamiento más eficientes y menos intensivos en carbono**

El mejoramiento de procesos se revela como una estrategia de profundo impacto en la reducción de emisiones de carbono y en la promoción de la sostenibilidad en proyectos mineros. Este enfoque apunta a la optimización de los métodos de extracción y procesamiento, con el fin de minimizar el consumo de recursos y la emisión de gases de efecto invernadero durante todas las etapas del ciclo minero (Ávila & Fresneda, 2023).

***Eficiencia en la Extracción:*** Desarrollo de métodos de extracción más selectivos y precisos, que reduzcan la cantidad de material estéril y minimicen la necesidad de movimiento de tierras. Implementación de técnicas avanzadas de perforación y voladura que reduzcan la liberación de gases nocivos y partículas.

**Mineralurgia de Bajas Emisiones:** Investigación y adopción de procesos metalúrgicos de menor intensidad en carbono, como la lixiviación en lugar de la fundición, para reducir la liberación de gases de efecto invernadero (Araujo & Cuello, 2018).

**Eficiencia Energética:** Implementación de tecnologías de ahorro energético en operaciones de trituración, molienda y procesamiento de minerales. Exploración

de metodologías para reciclar el calor y la energía residual generada durante los procesos, minimizando la pérdida de energía.

**Gestión de Residuos:** Desarrollo de métodos para la recuperación y reutilización de subproductos y desechos generados durante el procesamiento, reduciendo la generación de residuos y la necesidad de disposición.

**Monitorización y Mejora Continua:** Utilización de sistemas de monitoreo y análisis de datos en tiempo real para identificar inefficiencias y oportunidades de mejora en los procesos. Implementación de un enfoque de mejora continua que permita la adaptación constante de las prácticas y tecnologías en función de los resultados obtenidos (Poveda, 2022).

**Beneficios:** Reducción de la intensidad de carbono en la operación minera, lo que se traduce en emisiones menores y una menor huella ambiental. Disminución de costos operativos a largo plazo mediante la optimización de recursos y energía. Cumplimiento de regulaciones ambientales y mejora de la imagen corporativa al demostrar compromiso con la sostenibilidad.

**Desafíos:** La implementación de procesos más eficientes puede requerir inversiones iniciales significativas y cambios culturales en la organización. La adopción de nuevas tecnologías y prácticas puede requerir capacitación y ajustes en la operación.

La mejora de procesos es una estrategia esencial para reducir la huella de carbono y promover la sostenibilidad en proyectos mineros. Al optimizar la extracción, procesamiento y gestión de recursos, las operaciones mineras pueden contribuir de manera efectiva a la mitigación del cambio climático y al logro de objetivos ambientales y económicos a largo plazo (Alcázar & Sierra, 2021).

### **2.3.6 Innovación en logística: Reducción de emisiones en el transporte y distribución de recursos y materiales**

La innovación en el ámbito logístico se presenta como una columna vertebral esencial en la búsqueda de la Carbono Neutralidad y la promoción de prácticas operativas sostenibles en proyectos mineros (Barría *et al.*, 2020). Es importante tomar en cuenta que este tipo de estrategia se enfoca en la optimización de los procesos de transporte y distribución de recursos y materiales, con el propósito de reducir las emisiones de carbono inherentes y mejorar la eficiencia integral de las operaciones.

La planificación de rutas eficientes es una práctica fundamental en esta estrategia. El uso de tecnologías de análisis y modelado permite la definición de rutas de transporte que minimicen la distancia recorrida y el consiguiente consumo de combustible. La implementación de sistemas de navegación y seguimiento en tiempo real provee la capacidad de ajustar las rutas de manera dinámica, respondiendo a condiciones cambiantes de tráfico y otros factores pertinentes (Andrade, 2021).

En este contexto, la consideración de modalidades de transporte más sostenibles cobra relevancia. La exploración de opciones como el empleo de ferrocarriles y el transporte marítimo de corta distancia muestra un claro potencial para reducir las emisiones en comparación con las alternativas basadas en el transporte por carretera.

El mejoramiento de la eficiencia en los procesos de carga y descarga también se suma a este panorama. La optimización de estos procedimientos no solo reduce los tiempos de inactividad de los vehículos, sino que también minimiza el consumo de combustible, contribuyendo así a una menor huella de carbono.

La adopción de tecnologías de propulsión limpia es otro componente clave en esta estrategia de innovación logística. La investigación y aplicación de soluciones como vehículos eléctricos y aquellos basados en hidrógeno en la flota de transporte pueden generar una notable reducción en las emisiones.

La gestión efectiva de flotas se posiciona como una herramienta fundamental en este contexto, de tal forma que al materializarse la implementación de sistemas que monitoreen el rendimiento y el consumo de combustible de los vehículos, logrando así realizar los ajustes proactivos y mejoras continuas en el desempeño de la flota, maximizando así la eficiencia (Rosa *et al.*, 2020).

La adopción de estrategias de embalaje eficiente también contribuye a esta estrategia sostenible. El diseño y uso de empaques que reduzcan el volumen y peso de los productos transportados conducen a un menor requerimiento de energía y recursos durante el transporte.

En términos generales, esta iniciativa presenta diversos beneficios concretos. La disminución directa de las emisiones de carbono en el transporte y distribución de recursos y materiales se traduce en un impacto ambiental positivo. Además, la optimización logística se traduce en reducción de costos operativos y en una mejora holística de la cadena de suministro, fortaleciendo la resiliencia en las operaciones.

No obstante, se deben considerar ciertos desafíos. La adopción de tecnologías de propulsión limpia y la transformación de prácticas logísticas pueden requerir inversiones iniciales considerables. La colaboración efectiva con proveedores y socios logísticos es esencial para garantizar una transición exitosa hacia modelos más sostenibles (Botero, 2021).

## **2.4 Economía circular y aprovechamiento de residuos**

La adopción de un enfoque de Economía Circular y el aprovechamiento de residuos se han erigido como pilares esenciales en la búsqueda de una operación minera más sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental. La transición hacia un modelo económico circular implica un cambio fundamental en la manera en que se conciben los recursos y los desechos en el ciclo de vida de la minería.

En este contexto, la optimización de la gestión de residuos y la transformación de subproductos en recursos valiosos desempeñan un papel crucial para minimizar la extracción de materias primas, reducir la generación de desechos y disminuir la huella de carbono de la industria minera (Lobo, 2021).

Mediante la implementación de estrategias como la reutilización, el reciclaje y la valorización de subproductos, la minería puede avanzar hacia una operación más circular, en consonancia con los principios de sostenibilidad y conservación de recursos (Marrero *et al.*, 2019). La integración de la economía circular y el aprovechamiento de residuos no solo contribuyen al logro de objetivos ambientales, sino que también potencian la eficiencia operativa y promueven la creación de valor a largo plazo en la industria minera.

### **2.4.1 Economía circular en la minería: Reducción, reutilización y reciclaje de materiales**

La integración de los principios de economía circular en la industria minera se alza como una estrategia esencial con miras a la consecución de la Carbono Neutralidad y la promoción de prácticas operativas sostenibles. Este enfoque estratégico se centra en la reconfiguración del ciclo de vida de los materiales, enfocado en la reducción del desperdicio y la optimización del uso de recursos a través

de la aplicación de prácticas que incorporan la reducción, reutilización y reciclaje de materiales.

La reducción de desperdicio se erige como un pilar fundamental en esta estrategia. La implementación de prácticas de diseño y operación que minimicen la generación de residuos, ya desde las etapas iniciales de extracción hasta el procesamiento y eventual uso de los materiales, resulta imperante. Además, la adopción de tecnologías avanzadas de clasificación y separación de minerales permite una recuperación selectiva, reduciendo materiales no deseados y, por tanto, la generación de residuos (Sanipatín & Realpe, 2023).

La promoción de la reutilización y la remanufactura constituye un componente esencial. El fomento de la reutilización de equipos y componentes prolonga su vida útil y disminuye la necesidad de nuevos recursos. El desarrollo de programas de remanufactura posibilita la restauración y modernización de equipos usados, generando una significativa reducción en la necesidad de manufacturas desde cero.

Olcina (2020), considera que el reciclaje de materiales se erige como un proceso crucial, la implementación de sistemas de reciclaje que permitan la recuperación de metales y materiales valiosos presentes en productos descartados o en desuso no solo disminuye la presión sobre las reservas minerales, sino que también promueve la eficiencia en la gestión de recursos.

En el plano de los beneficios, la economía circular conlleva una reducción sustancial en la cantidad de residuos generados, aminorando de manera significativa el impacto ambiental y la necesidad de recursos para la disposición. Al mismo tiempo, esta estrategia minorra la demanda de recursos vírgenes y reduce la presión sobre los ecosistemas naturales. La optimización de costos y la fortaleza de la resiliencia

operativa emergen como resultados colaterales, al depender menos de fuentes de suministro externas.

Aunque la adopción de prácticas de economía circular puede conllevar ajustes y cambios en los procesos convencionales, así como la adopción de nuevas tecnologías, su implementación se perfila como una inversión en la sostenibilidad a largo plazo. La colaboración con proveedores y otros actores en la cadena de suministro se torna crucial para el éxito de estas estrategias, ampliando su alcance y efectividad (Chalar, 2023).

La influencia de la economía circular trasciende la reducción de emisiones y la mitigación del cambio climático. Al propiciar una gestión más eficiente y responsable de los recursos, este enfoque converge con los objetivos de sostenibilidad global y esencialmente contribuye a la edificación de una minería más responsable y resiliente en el futuro.

Poveda (2022), afirma que la adhesión a los principios de economía circular en la minería se consolida como una vía ineludible hacia la atenuación de emisiones y la construcción de operaciones más sostenibles en todos los aspectos. Al enfocarse en la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, esta estrategia despliega un rol fundamental en la materialización de la sostenibilidad y el progreso de la industria minera.

#### **2.4.2 Gestión de residuos: Minimización y tratamiento de desechos generados en la fase de exploración**

En el marco de la búsqueda de Carbono Neutralidad y sostenibilidad en la industria minera, la gestión de residuos en la fase de exploración emerge como un pilar crítico. Esta estrategia persigue la minimización y el tratamiento eficaz de los

desechos generados durante las operaciones de exploración, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental y fomentar prácticas responsables.

Carrasco (2019), considera que, para lograr una gestión efectiva, es esencial llevar a cabo una caracterización y clasificación precisa de los tipos de residuos generados durante la fase de exploración, este tipo de acciones permite identificar materiales potencialmente peligrosos y no peligrosos, posibilitando un manejo diferenciado y apropiado. La reducción de la generación de residuos en la fuente se presenta como una práctica fundamental. La aplicación de enfoques de diseño y operación que minimicen la producción de desechos desde el inicio de las actividades de exploración es esencial para prevenir su acumulación e impacto.

La reutilización y el reciclaje de materiales ocupan un espacio crucial en esta estrategia. La instauración de sistemas de recolección y separación en el lugar de trabajo facilita el reciclaje de materiales como papel, plástico y metales. Asimismo, se promueve la reutilización de materiales y equipos cuando es factible, reduciendo así la necesidad de nuevos recursos (Poza, 2021).

La adopción de métodos de tratamiento adecuados para los residuos generados es esencial. Implementar sistemas de tratamiento que aborden desechos como lodos de perforación y sustancias químicas es crucial. Explorar tecnologías de tratamiento, como neutralización y sedimentación, contribuye a minimizar el impacto ambiental de los residuos.

Un pilar clave en esta estrategia es el cumplimiento riguroso de regulaciones ambientales y de salud en lo que concierne al manejo y disposición de los residuos generados durante la fase de exploración. Esto asegura la integridad ambiental y legal de las operaciones. La gestión de residuos no solo reduce el impacto ambiental y evita

la contaminación en las etapas iniciales del proyecto minero, sino que también eleva la imagen corporativa al demostrar un compromiso sustancial con prácticas ambientalmente responsables. Además, el cumplimiento de normativas reduce los riesgos legales y regulatorios asociados.

La implementación de sistemas de gestión de residuos puede requerir inversiones iniciales considerables en infraestructura y capacitación, así como también la colaboración con autoridades locales y reguladoras es esencial para asegurar un manejo apropiado y cumplir con los requerimientos normativos (Gaudiano & Cartea, 2020). Desde una perspectiva más amplia, la gestión eficaz de residuos en la fase de exploración contribuye directamente a la Carbono Neutralidad al evitar la liberación de sustancias contaminantes y gases de efecto invernadero. Esta estrategia también sienta bases sólidas para una operación minera más sostenible y responsable en el futuro.

La gestión de residuos en la fase de exploración de proyectos mineros no solo es esencial para la Carbono Neutralidad, sino que también es una práctica indispensable para la sostenibilidad (Barría *et al.*, 2020). Al enfocarse en la minimización y tratamiento adecuado de los desechos, esta estrategia desempeña un papel vital en el logro de objetivos ambientales, la reducción de emisiones y el establecimiento de operaciones mineras responsables desde sus inicios.

### **2.4.3 Valorización de subproductos: Identificación de oportunidades para convertir residuos en recursos útiles**

En la búsqueda incesante de Carbono Neutralidad y sostenibilidad en la esfera minera, la estrategia de valorización de subproductos se destaca como un componente central. Este enfoque estratégico tiene su mirada puesta en la

identificación y aprovechamiento de oportunidades para convertir los residuos generados durante las operaciones en recursos de valor, no solo contribuyendo a la reducción de emisiones, sino también al mejoramiento del rendimiento económico y ambiental.

La caracterización y selección meticulosa de los subproductos se erige como un punto de partida esencial, de tal forma que la realización de análisis exhaustivos de los residuos generados permite discernir componentes que potencialmente puedan ser valorizados (Fuentes *et al.*, 2023). La evaluación subsiguiente de la viabilidad técnica y económica de la conversión de residuos en subproductos provee un sólido fundamento para decisiones informadas.

La incorporación de tecnologías de valorización desempeña un rol protagonista. La investigación y adopción de tecnologías avanzadas que posibiliten la transformación eficiente de residuos en subproductos de valor añadido son esenciales. Este ámbito abarca procesos como la recuperación de metales, la generación de energía a partir de desechos y la obtención de materiales con aplicaciones en la construcción.

La identificación de mercados y aplicaciones para los subproductos constituye un paso crucial en esta estrategia, a través de dicha acción se asegura la demanda y utilidad de los subproductos generados. La colaboración con industrias afines desempeña un rol fundamental en la exploración de usos y aplicaciones potenciales para los subproductos, optimizando así su valor en diversos sectores (Hernández, 2023).

Los beneficios derivados de la valorización de subproductos son múltiples y sustanciales. La reducción de la cantidad de residuos destinados a la disposición

representa un logro en términos ambientales y de espacio para vertederos. Además, la transformación de residuos en recursos comercializables genera ingresos adicionales y refuerza la resiliencia operativa, disminuyendo la dependencia de fuentes externas de materias primas.

No obstante, esta estrategia no está exenta de desafíos. La valorización de subproductos puede requerir inversiones iniciales significativas en tecnología y capacitación. Jones *et al.* (2023), plantean que para garantizar la calidad y seguridad de los subproductos generados es imperativo para cumplir con regulaciones y estándares. Desde la perspectiva de la Carbono Neutralidad, la valorización de subproductos contribuye directamente a la reducción de emisiones al evitar la generación y liberación de gases de efecto invernadero durante la disposición de residuos.

Rosa *et al.* (2020), considera que la valorización de subproductos fomenta la innovación al estimular la búsqueda de nuevas formas de aprovechar los residuos y maximizar su valor, impulsando así la evolución de la industria minera hacia prácticas más sostenibles y conscientes.

La valorización de subproductos en proyectos mineros no solo es una estrategia para la Carbono Neutralidad, sino también un motor de transformación hacia una operación minera más eficiente, rentable y respetuosa con el medio ambiente. Al aprovechar oportunidades para convertir residuos en recursos de valor, esta estrategia impulsa la minería hacia un futuro más sostenible y alineado con los desafíos globales actuales.

## Capítulo III Marco Referencial

### 3.1 Reseña histórica

La minería en Ecuador tiene raíces que se remontan a tiempos prehispánicos. A lo largo de su historia, esta actividad ha atravesado diferentes etapas, marcadas por diversas circunstancias políticas, económicas y sociales.

Antes de la llegada de los españoles, las culturas indígenas del actual territorio ecuatoriano ya realizaban actividades mineras, especialmente en lo que respecta a la extracción de oro. Los indígenas empleaban técnicas rudimentarias para extraer este metal, que era utilizado principalmente para la fabricación de ornamentos y objetos ceremoniales (Andrade & Ruperti, 2019).

Con la llegada de los conquistadores en el siglo XVI, la minería adquirió un rol más prominente. Los españoles, motivados por la búsqueda de riquezas, intensificaron la explotación de los yacimientos de oro y plata. Durante este periodo, se establecieron las primeras normativas mineras, y la mano de obra indígena fue sometida al trabajo en condiciones extremas, especialmente en las minas de Zaruma y Portovelo.

Patiño (2021), destaca que tras la independencia de Ecuador en el siglo XIX, la minería continuó siendo una actividad relevante, aunque con altibajos debido a factores políticos y económicos. Las minas de Zaruma y Portovelo continuaron siendo explotadas, aunque con técnicas más modernas. A lo largo de este período, se registró un auge en la minería de oro, seguido de una paulatina decadencia en la primera mitad del siglo XX.

En las últimas décadas, la minería en Ecuador ha experimentado un resurgimiento, con un énfasis en la minería responsable y sostenible. El país ha buscado atraer inversiones en el sector minero con políticas más amigables y reglamentos claros (Horta & García, 2023). Se han descubierto yacimientos significativos, como el proyecto Mirador (cobre) y el proyecto Fruta del Norte (oro y plata), que prometen impulsar la economía ecuatoriana. Sin embargo, esto ha generado también debates en torno al impacto ambiental y los derechos de las comunidades locales.

Ecuador enfrenta desafíos relacionados con el equilibrio entre el desarrollo minero y la protección del medio ambiente y los derechos de los pueblos indígenas. Las zonas ricas en minerales a menudo coinciden con áreas de alta biodiversidad o territorios indígenas, lo que genera tensiones y demandas de consulta y participación.

Alvear (2018), considera que la minería en Ecuador ha sido una constante a lo largo de su historia, adaptándose y evolucionando con el tiempo, desde las técnicas ancestrales de las culturas precolombinas hasta los modernos proyectos mineros de gran escala, la extracción de minerales ha sido y sigue siendo una pieza clave en el desarrollo económico y social del país. Sin embargo, los desafíos actuales exigen una mirada crítica y un compromiso con la sostenibilidad y el respeto a los derechos de las comunidades y el medio ambiente.

Titan Minerals SAS se estableció en 2005 como una Join venture entre inversores ecuatorianos y extranjeros con el objetivo de explorar y explotar minerales en diversas regiones del Ecuador. Desde sus inicios, se ha destacado por su compromiso con la extracción responsable de minerales y el cuidado del medio ambiente en todas sus operaciones. La compañía tiene una trayectoria sólida en la

industria minera, con una amplia experiencia en la exploración y extracción de minerales, a lo largo de los años, Titan Minerals ha logrado establecerse como un referente en el sector, gracias a su enfoque sostenible y responsable.

Uno de los hitos más importantes en la historia de Titan Minerals fue la obtención de diversas concesiones mineras en la región de XXXX, donde se encuentran ricos yacimientos de minerales de alta calidad. Esto permitió a la empresa expandir sus operaciones y contribuir al desarrollo económico de la zona.

Titan Minerals ha trabajado de la mano con las comunidades locales, buscando siempre establecer relaciones mutuamente beneficiosas y contribuir al desarrollo social en las áreas donde opera. La empresa ha implementado programas para mejorar la calidad de vida de los pobladores, fomentar la educación y promover la inclusión social (Titan Minerals Ltd, 2022).

Otro aspecto destacado de Titan Minerals es su compromiso con el cuidado del medio ambiente. La empresa ha implementado rigurosos estándares y protocolos para minimizar el impacto ambiental de sus operaciones. Se han llevado a cabo inversiones en tecnologías limpias y se han establecido programas de restauración ambiental para asegurar la preservación de los recursos naturales.

En la actualidad, Titan Minerals continúa trabajando en la exploración y extracción responsable de minerales en Ecuador. La empresa se enfoca en la adopción de prácticas sostenibles y en la búsqueda constante de nuevas tecnologías y estrategias para minimizar su impacto en el entorno (Titan Minerals Ltd, 2022).

Durante sus primeros años, la empresa se enfocó en la investigación geológica y el mapeo de potenciales yacimientos, principalmente en la provincia de Azuay. Para

2011, Titan Minerals había identificado varios sitios prometedores y comenzó sus primeras operaciones de extracción en la zona de Yantzaza. Gracias a técnicas innovadoras y un enfoque en la sostenibilidad, la empresa logró consolidarse rápidamente en el mercado ecuatoriano, garantizando operaciones con mínimo impacto ambiental.

Reconociendo la creciente importancia de la minería responsable, Titan Minerals SAS implementó una serie de programas de responsabilidad social corporativa. Estableció alianzas con comunidades locales, invirtiendo en educación y salud, y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles en áreas aledañas a sus operaciones. Por otra parte, la empresa introdujo tecnologías de vanguardia para reducir su huella de carbono (Titan Minerals Ltd, 2022).

Titan Minerals enfrentó desafíos en el contexto de regulaciones mineras más estrictas y una creciente conciencia ambiental en el país. Sin embargo, la empresa adaptó rápidamente sus operaciones, enfocándose en la minería subterránea y técnicas de recuperación de áreas afectadas. También inició un proceso de diversificación, explorando el potencial de minerales raros y metales utilizados en tecnologías verdes.

Titan Minerals SAS es una empresa minera que se ha destacado por su compromiso con la extracción responsable de minerales y el cuidado del medio ambiente. A lo largo de su historia, ha logrado establecerse como un referente en el sector, gracias a su enfoque sostenible y responsable, su trabajo en colaboración con las comunidades locales y su constante búsqueda de prácticas más sustentables.

## **3.2 Filosofía organizacional**

### **Misión:**

En Titan Minerals SAS, están comprometidos con la exploración y explotación responsable de los recursos minerales de Ecuador. Se busca impulsar el desarrollo económico del país, garantizando al mismo tiempo la preservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades en las que operamos.

Para la empresa, la sostenibilidad y la responsabilidad son dos pilares fundamentales en las operaciones. Considera que es posible combinar la actividad minera con prácticas sostenibles que beneficien tanto a la economía como al ecosistema (Titan Minerals Ltd, 2022).

El equipo de profesionales está altamente capacitado y trabaja incansablemente para garantizar que las operaciones sean seguras, eficientes y respetuosas con el entorno (Titan Minerals Ltd, 2022). Además, se mantiene una comunicación constante y transparente con las comunidades locales, escuchando sus preocupaciones y necesidades, y trabajando conjuntamente en soluciones que promuevan un equilibrio entre la industria y la sociedad.

En Titan Minerals SAS, se entiende que la responsabilidad va más allá de la extracción de minerales; también nos enfocamos en crear un legado positivo para las futuras generaciones de ecuatorianos. Por ello, se invierte en proyectos de educación, infraestructura y salud en las comunidades con las que se colabora, reafirmando el compromiso de ser un agente activo y positivo en el desarrollo sostenible del Ecuador.

Están orgullosos de ser parte del tejido económico y social del país, y seguiremos esforzándonos para que las operaciones sean un reflejo de los valores y principios, siempre con el objetivo de beneficiar a Ecuador y a su gente.

**Visión:**

Ser líderes en la industria minera de Ecuador y Latinoamérica, reconocidos por las prácticas sostenibles, innovación tecnológica y compromiso inquebrantable con la ética y la integridad en todas las operaciones, es nuestra visión y la aspiración que guía cada uno de los pasos (Titan Minerals Ltd, 2022).

En Titan Minerals SAS, se entiende que la minería moderna va más allá de la simple extracción de recursos. Es una combinación de adaptación tecnológica, gestión medioambiental y responsabilidad social. Por lo que se invierte continuamente en tecnologías de vanguardia que no solo optimizan las operaciones, sino que también minimizan el impacto ambiental, garantizando un futuro más verde para las generaciones venideras (Titan Minerals Ltd, 2022).

El equipo multidisciplinario trabaja en conjunto para desarrollar soluciones innovadoras que respondan a los desafíos actuales del sector, siempre con una perspectiva sostenible. A través de colaboraciones estratégicas, formación continua y un enfoque en la investigación y desarrollo, buscamos estar siempre a la vanguardia, estableciendo nuevos estándares para la industria minera en la región.

La ética y la integridad son el corazón de nuestra empresa. Cada decisión que tomamos está basada en principios firmes de transparencia, respeto y responsabilidad, no solo hacia los accionistas y empleados, sino también hacia las comunidades que acogen y el medio ambiente que protegemos.

La empresa está convencida de que el liderazgo no se mide solo por el éxito económico, sino también por el legado que deja. Aspira a ser el ejemplo a seguir, demostrando que es posible equilibrar la rentabilidad con la responsabilidad, y contribuyendo activamente al desarrollo sostenible y al bienestar de la región latinoamericana.

### **Valores:**

**Integridad:** Actúan con honestidad, transparencia y coherencia en todas las decisiones y acciones, construyendo relaciones de confianza con los Stakeholders.

**Sostenibilidad:** El compromiso va más allá de la extracción de minerales; trabajan incansablemente para minimizar el impacto ambiental y asegurar que las operaciones benefician a las generaciones presentes y futuras (Titan Minerals Ltd, 2022).

**Innovación:** Busca constantemente nuevas tecnologías y métodos que optimicen la producción, reduzcan los costos y, sobre todo, disminuyan el impacto en el entorno.

**Comunidad:** Establecen relaciones duraderas con las comunidades locales, entendiendo sus necesidades y aspiraciones, y colaborando en proyectos que mejoren su calidad de vida (Titan Minerals Ltd, 2022).

**Excelencia:** Se esfuerzan por alcanzar los más altos estándares en todo lo que hacen, desde la seguridad en las operaciones hasta la calidad de los minerales que producen.

### **Compromisos:**

Con el Medio Ambiente: Adoptar prácticas que protejan la biodiversidad y reduzcan al mínimo la huella de carbono.

**Con los Empleados:** Garantizar un ambiente de trabajo seguro, inclusivo y que fomente el desarrollo profesional continuo (Titan Minerals Ltd, 2022).

**Con la Sociedad:** Aportar al desarrollo socioeconómico de Ecuador, invirtiendo en proyectos comunitarios y pagando equitativamente los impuestos y regalías.

**Con los Accionistas:** Ofrecer retornos competitivos, manteniendo siempre la integridad y la transparencia en la gestión (Titan Minerals Ltd, 2022).

### **Esencia:**

En Titan Minerals SAS, se considera que la minería y la sostenibilidad pueden y deben coexistir. A través de la filosofía, se busca dejar un legado positivo en Ecuador, demostrando que es posible combinar el progreso económico con el cuidado del planeta y de sus habitantes.

Por esta razón, hemos adoptado una serie de prácticas y políticas que priorizan el equilibrio entre el desarrollo industrial y la conservación ambiental. Implementamos tecnologías limpias y métodos de extracción que reducen nuestra huella ecológica, protegiendo los ecosistemas y garantizando la biodiversidad de las áreas en las que operamos.

Además, creen firmemente en la inclusión y el diálogo con las comunidades locales. Se entiende que son huéspedes en sus territorios y, por ende, establecemos canales de comunicación abiertos y constantes para garantizar que nuestras operaciones beneficien directamente a quienes viven en estas regiones. Esto se traduce en programas de capacitación, empleo local, y proyectos comunitarios en áreas como salud, educación e infraestructura.

En Titan Minerals SAS, la sostenibilidad no es solo una palabra de moda; es un compromiso real que guía cada decisión que tomamos. Por ello, se invierte en investigación y desarrollo para encontrar soluciones innovadoras que permitan una explotación minera más eficiente y respetuosa con el medio ambiente (Titan Minerals Ltd, 2022).

La visión va más allá del beneficio a corto plazo. Se aspira a ser reconocidos no solo por nuestra capacidad productiva, sino también por nuestra contribución a un futuro más próspero y sostenible para Ecuador y, por extensión, para toda Latinoamérica (Titan Minerals Ltd, 2022). Es su deber, como líderes industriales, demostrar que la minería puede ser una fuerza de bien, impulsando el crecimiento económico al mismo tiempo que protegen y valoran el planeta y sus gentes.

### **3.3 Diseño organizacional**

El diseño organizacional se refiere a la forma en que se estructura y se organiza una empresa, tanto en términos de su estructura jerárquica como en la distribución de tareas y responsabilidades. El diseño organizacional tiene como objetivo principal optimizar la eficiencia y efectividad de una organización, permitiendo una mejor

coordinación entre los diferentes departamentos y niveles jerárquicos. También busca facilitar la toma de decisiones y mejorar la comunicación dentro de la organización. El diseño Organizacional de Titan Minerals SAS, está dado por:

- **Directorio o Consejo de Administración:** Este es el grupo que toma las decisiones estratégicas y supervisa las operaciones generales de la empresa (Titan Minerals Ltd, 2022).
- **Director General (CEO):** A cargo de toda la empresa y responsable de implementar las decisiones del Consejo de Administración.
- **Director Financiero (CFO):** Responsable de las finanzas de la empresa, incluyendo contabilidad, tesorería y planificación financiera.
- **Director de Operaciones:** Supervisa todas las operaciones mineras, desde la exploración hasta la extracción (Titan Minerals Ltd, 2022).
- **Gerente de Exploración:** A cargo de buscar y evaluar nuevos sitios mineros.
- **Gerente de Explotación:** A cargo de la operación diaria de las minas existentes.
- **Director de Sostenibilidad y Medio Ambiente:** Se asegura de que todas las operaciones se realicen de manera sostenible y ecológica.
- **Gerente de Relaciones Comunitarias:** Interactúa con las comunidades locales y se asegura de que sus necesidades sean atendidas.

- **Gerente de Medio Ambiente:** Supervisa los impactos ambientales y garantiza el cumplimiento de las regulaciones.
- **Director de Recursos Humanos:** Maneja la contratación, capacitación y bienestar del personal (Titan Minerals Ltd, 2022).
- **Director de Tecnología e Innovación:** A cargo de implementar nuevas tecnologías y procesos en la empresa.
- **Director de Comunicaciones y Relaciones Públicas:** Responsable de la imagen de la empresa, las relaciones con los medios y la comunicación interna (Titan Minerals Ltd, 2022).
- **Director Jurídico:** A cargo de todos los aspectos legales, desde contratos hasta cumplimiento de regulaciones.

#### **Departamentos Auxiliares:**

- **Departamento de Salud y Seguridad:** Asegura que las operaciones sean seguras para todos los empleados.
- **Departamento de Compras y Logística:** Administra el flujo de materiales y equipos.
- **Departamento de Investigación y Desarrollo:** Busca nuevas oportunidades y mejora los procesos actuales.
- **Departamento de Ventas y Marketing:** Encargado de la venta y promoción de los minerales extraídos.

El diseño organizacional de Titan Minerals SAS se caracteriza por una estructura jerárquica que permite una eficiente coordinación y toma de decisiones. En la cúspide de la organización se encuentra el Directorio o Consejo de Administración, que se encarga de definir la estrategia empresarial y supervisar las operaciones generales.

El Director General (CEO) es el encargado de implementar las decisiones del Consejo de Administración y tiene la responsabilidad de liderar toda la empresa. Trabaja en estrecha colaboración con el Director Financiero (CFO), quien se encarga de las finanzas de la empresa, incluyendo la contabilidad, tesorería y planificación financiera (Titan Minerals Ltd, 2022).

En cuanto a la operación minera, Titan Minerals SAS cuenta con un Director de Operaciones que supervisa todas las operaciones, desde la exploración hasta la extracción. Para ello, la empresa tiene un Gerente de Exploración encargado de buscar y evaluar nuevos sitios mineros, y un Gerente de Explotación a cargo de la operación diaria de las minas existentes.

La sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente son prioridades para Titan Minerals SAS, por lo que cuenta con un Director de Sostenibilidad y Medio Ambiente, cuya labor es asegurar que todas las operaciones se realicen de manera sostenible y ecológica. Para esto, se trabaja en colaboración con el Gerente de Medio Ambiente, quien supervisa los impactos ambientales y garantiza el cumplimiento de las regulaciones.

La empresa también presta atención a las comunidades locales, por lo que cuenta con un Gerente de Relaciones Comunitarias, encargado de interactuar con las

comunidades y asegurarse de que sus necesidades sean atendidas. En cuanto a los recursos humanos, Titan Minerals SAS tiene un Director de Recursos Humanos dedicado a la contratación, capacitación y bienestar del personal.

La innovación y la implementación de nuevas tecnologías son fundamentales para Titan Minerals SAS, por lo que cuentan con un Director de Tecnología e Innovación, quien se encarga de incorporar nuevas tecnologías y procesos en la empresa. La imagen y comunicación de Titan Minerals SAS también son importantes, de ahí la existencia de un Director de Comunicaciones y Relaciones Públicas, responsable de gestionar la imagen de la empresa, las relaciones con los medios y la comunicación interna.

De igual forma, la empresa tiene un Director Jurídico a cargo de todos los aspectos legales, desde la redacción de contratos hasta el cumplimiento de las regulaciones. Además de estos roles principales, Titan Minerals SAS cuenta con diferentes departamentos auxiliares. El Departamento de Salud y Seguridad se encarga de garantizar que las operaciones sean seguras para todos los empleados. El Departamento de Compras y Logística administra el flujo de materiales y equipos necesarios. El Departamento de Investigación y Desarrollo busca nuevas oportunidades y mejora los procesos actuales. Y, por último, el Departamento de Ventas y Marketing se encarga de la venta y promoción de los minerales extraídos.

El diseño organizacional de Titan Minerals SAS se basa en una estructura jerárquica con roles bien definidos, permitiendo una adecuada coordinación y gestión de la empresa en todas sus áreas funcionales. Esto le permite operar de manera eficiente y alcanzar sus objetivos en el sector minero.

### **3.4 Productos y/o servicios**

- **Molino y Planta Procesadora Portovelo (100% propiedad)**

Portovelo, antes llamado "Molino Zaruma", cuenta con un sistema tradicional que incluye procesos de trituración, molino, lixiviación, carbón en pulpa (CIP), elución y electrodeposición. Con una capacidad nominal de 2,000 tpd, Portovelo se destaca como la mayor planta CIP en operación con autorización en Ecuador. Ha procesado efectivamente hasta 260,000 toneladas anuales procedentes del Proyecto Dynasty Gold.

- **Proyecto de oro de la dinastía (100% propiedad. Activo insignia)**

En la actualidad, funciona como una mina de pequeña escala a cielo abierto y ostenta el título de la primera mina de oro completamente autorizada en Ecuador para dicha modalidad. Dynasty se compone de cinco concesiones que suman un área de 139km<sup>2</sup>, situadas en la provincia de Loja, al sur del país. Se planea una serie de actividades que abarcarán 12,000m de perforación en el marco de un proyecto exploratorio de 6 meses, para el cual ya se han obtenido las licencias necesarias. Cada año, se extraen aproximadamente 260,000 toneladas de material, que luego son trasladadas en camiones hacia Portovelo.

- **Proyecto Copper Duke (100% propiedad. Activo insignia)**

Propiedad de 130km<sup>2</sup> situada en el sur ecuatoriano, a 5km al sur de Catacocha. Se han definido metas para las actividades a realizar. Se espera que los análisis magnéticos y geoquímicos de alta precisión den inicio en el tercer trimestre de 2020, habiéndose determinado 5 áreas de interés para la exploración. Este lugar fue hallado

en 1968 gracias a una investigación de las Naciones Unidas. Goldcorp adquirió Copper Duke en 2007 y, posteriormente, Titan tomó las riendas del proyecto en 2020.

- **Proyecto Linderos (100% propiedad. Activo insignia).**

Ubicado a 45 km al suroeste del proyecto Dynasty Goldfield. 143km<sup>2</sup> de terreno con un descubrimiento de oro de alta ley. En 2017, Core Gold se embarcó en una campaña de excavación de zanjas, seguida en 2018 con una campaña de perforación inaugural. Core Gold anunció los resultados "positivos".

- **Proyecto de oro Zaruma (100% propiedad)**

El proyecto Zaruma, situado en el sur de Ecuador cerca de la ciudad homónima, es una iniciativa de oro de alta concentración. Está a una distancia de 3km de Zaruma. En estos momentos, mientras Titan contempla diferentes opciones para este recurso, el proyecto está en pausa y conservación. Su producción comercial se inició en 2013, finalizando en 2016, durante ese periodo generó más de 70,000 onzas de oro con un contenido promedio superior a 8g/t Au y 150,000 onzas de plata. Hay un acceso subterráneo de 5m x 5m situado a 7.5km de la instalación de Portovelo, que incluye un molino. Dicho molino, ahora en suspensión, cuenta con una expectativa de duración de unos 15 años.

### **3.5 Diagnóstico organizacional**

Con la finalidad de llevar a cabo un análisis PEST, que respalde la formulación de sugerencias para asegurar la expansión y evolución de la organización, se examinarán las oportunidades y riesgos que afecten el plan de negocios sugerido.

### 3.5.1.1 Entorno Político

Los sucesos y evoluciones políticas que han ocurrido a nivel del país en los recientes 5 años impactan, ya sea de manera directa o indirecta, las transacciones comerciales en variados ámbitos industriales, incluido el de la construcción. Por ello, es esencial considerarlos en el estudio.

**Factores Políticos y Riesgo Asociado:** Considerando las decisiones y adaptaciones hechas por la administración actual en el último decenio, es vital señalar que los insumos mineros están sometidos a tarifas que elevan su valor, afectando directamente el gasto de producción.

Según Vaca & Orellana (2020), la administración adoptó un rol como mediador, impulsor y gestor de proyectos destinados a financiar la producción local. Esta función persistió y, además, generó nuevas estrategias regulatorias en el escenario financiero presente. De igual manera, apunta que los ingresos derivados de la exportación de crudo y otros recursos naturales se han visto perjudicados por el actual declive económico.

La Constitución de la República, establece que es deber del Estado actuar como promotor y supervisor en la inversión y el financiamiento destinados al ámbito industrial nacional. Esto está reflejado en el Plan Estratégico del Buen Vivir, que manifiesta que el sector gubernamental actúa como garante, impulsor y administrador de subsidios y estrategias para el progreso económico.

Adicionalmente, las entidades financieras privadas, como bancos y otros organismos de crédito, tienen el encargo de ofrecer financiamiento para las operaciones industriales que buscan lograr un nivel óptimo de bienestar. Cedeño &

Mendoza (2020) subrayan que las instituciones gubernamentales dirigen sus esfuerzos hacia la definición de criterios y regulaciones, con el fin de establecer las calidades y costos de los bienes, asegurando que la comunidad pueda acceder a ellos. Entre las directrices implementadas por la administración central se incluyen:

**Pactos y convenios políticos:** Es notable que, durante los últimos diez años, la administración del país ha orientado sus políticas hacia el impulso y crecimiento de la economía doméstica, estableciendo una relación comercial robusta con China. Esto ha incrementado significativamente la entrada de minerales e insumos básicos provenientes de esa nación.

Romero *et al.* (2022), consideran que el refrendo del Sistema de Preferencias Arancelarias SGP plus, que facilita la exportación de insumos básicos de Ecuador a Estados Unidos, favoreciendo cerca de 400 artículos de producción local. Este contexto otorga ventajas competitivas y posibilidades a los industriales locales para destacar en un escenario global crecientemente desafiante.

Fairlie (2022), señala que el Convenio Comercial Multilateral con la Unión Europea facilita la salida de insumos básicos desde Ecuador, aplicando aranceles mínimos o inexistentes. Esto no solo asegura un posicionamiento sólido de bienes locales en el escenario europeo, sino que también posibilita la entrada de minerales provenientes de Europa con condiciones arancelarias favorables.

**Gestión en el ámbito del comercio internacional:** El gobierno ha implementado diversas estrategias con la intención de resguardar y potenciar el avance de la economía y sector industrial local. Una de esas acciones es la

implementación de tasas adicionales en la decisión No. 11 por el Comité de Relaciones Exteriores, COMEX.

Esta estrategia se estableció con el propósito de balancear el comercio exterior, promoviendo una reducción en la entrada de bienes y servicios extranjeros y reemplazándolos por aquellos creados a nivel nacional. Diversos ámbitos de producción se vieron influenciados por esta medida.

### **3.5.1.2 Entorno Económico**

Vaca & Orellana (2020), señalan que el estudio económico se orienta hacia la contribución en la economía del país, destacando el efecto de esta contribución en el progreso financiero y en la generación de empleos, ya sean directos o indirectos. Es importante mencionar que la economía del país aún muestra una inclinación considerable hacia la exportación de petróleo. Así, cualquier variabilidad en este mercado tiene un impacto notable en las cuentas nacionales, como se observó con la bajada de los precios del crudo en 2021, provocando un ritmo de crecimiento económico más lento. Además, el gasto estatal ha crecido notoriamente en los últimos diez años, representando un incremento en la inversión gubernamental para asegurar su operación. De allí que el gobierno muestre un creciente empeño en generar ingresos, llevando a cabo nuevas medidas fiscales que afectan a diversos sectores.

**Perspectiva económica:** Las estimaciones financieras para el país anticipan una disminución en el avance económico para 2022, principalmente por la caída de los precios del crudo a nivel global y el fortalecimiento del dólar que afecta las exportaciones a mercados internacionales (Cedeño & Mendoza, 2020).

**Contribución al PIB:** Según datos proporcionados por el Ministerio encargado de Política Pública, la venta de minerales contribuyó con un 3.72% al PIB del país, lo que refleja una importante suma de recursos.

**Comercio exterior:** El año 2021 se distinguió por una reducción acentuada del -60% en el comercio de petróleo y un aumento del 36.2% en el comercio no relacionado con el petróleo (Romero *et al.*, 2022). A pesar de que esto muestra un crecimiento y diversificación de la producción nacional, aún no cumple del todo con las aspiraciones de progreso económico que apoyen las importaciones. En 2022, el comercio exterior mostró un saldo positivo de 48.5 millones de dólares, resultado de la disminución de importaciones en un 35.5%, y especialmente en la venta de minerales que disminuyó en un 36.5% en comparación con los primeros 4 meses del año previo.

### 3.5.1.3 Entorno Social - Cultural

**Aspecto poblacional:** La concentración de personas en áreas urbanas principales refleja una creciente necesidad de viviendas asequibles. Ante esto, las autoridades nacionales, instituciones y gobiernos locales están intensificando su participación en proyectos de vivienda asequible en zonas urbanas más que en áreas rurales (Fairlie, 2022). Actualmente, se prevé un crecimiento del 20% de habitantes en zonas urbanas, mientras que las áreas rurales podrían experimentar una reducción del 30% en los próximos años. Esta dinámica amplifica los desafíos en el ámbito de vivienda en las principales localidades del Ecuador.

**Aspectos culturales y educativos:** Un desafío para el desarrollo económico en Ecuador es la limitada formación educativa de sus habitantes. Según datos del

Ministerio de Educación, aunque el 90% de la población ingresa a la educación básica, solo el 60% culmina el nivel secundario. Esta situación sugiere una falta de profesionales capacitados que puedan acceder a empleos con remuneraciones adecuadas.

Respecto a la demografía familiar, es notorio que la mitad de las familias en Ecuador está integrada por individuos menores de 25 años, la mayoría de ellos, en su fase temprana de vida adulta, aún no ha consolidado ahorros significativos, y una gran proporción, el 80%, vive con sus progenitores o parientes próximos (Alarcón *et al.*, 2021). Por otro lado, el segmento de población entre 25 y 45 años, que representa el 30%, muestra una mayor inclinación hacia la expansión de sus habilidades laborales y productivas.

#### **3.5.1.4 Entorno Tecnológico y Ambiental**

**Conexión digital:** La era digital ha abierto puertas para un acceso más amplio a productos innovadores, beneficiando a la industria local. Este canal se ha convertido en el preferido para las empresas que buscan promocionar y vender sus productos. Según datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (2022), aproximadamente el 94.19% de la población ecuatoriana usa internet, lo que sugiere que es un medio efectivo para promocionar y vender productos relacionados con la minería. La industria local ha integrado el uso de internet no solo para promoción y marketing, sino también para transacciones y compras relacionadas con insumos y materiales mineros esenciales para su expansión (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023)

**Innovación tecnológica:** Es notable que la industria ecuatoriana ha sido testigo de avances en tecnología. Sin embargo, el país enfrenta desafíos en cuanto a la adopción de tecnologías avanzadas, en parte debido a barreras comerciales, como las sobretasas arancelarias.

**Ambiental:** Basándonos en las observaciones de Sotomayor (2020), los procedimientos convencionales de producción generan numerosos desechos perjudiciales que dañan el suelo, polucionan el aire y están asociados a diversas afecciones respiratorias. Es crucial implementar estrategias que minimicen la polución en áreas metropolitanas densamente pobladas. La adopción de tecnologías sostenibles puede ser una solución eficaz para reducir estos contaminantes.

Los métodos industriales convencionales son una causa principal de polución en zonas con alta densidad industrial, este tipo de prácticas han dañado el entorno natural de estas áreas y han aumentado la cantidad de partículas nocivas en el aire, comprometiendo la salud de la comunidad (Gaudiano & Cartea, 2020).

### **3.5.2 Análisis interno**

**Estructura Organizacional:** La empresa minera Titan Minerals SAS presenta una estructura organizacional jerárquica y centralizada. Si bien esta estructura permite la toma de decisiones eficiente y una clara definición de roles y responsabilidades, puede obstaculizar la comunicación y la participación de los empleados en la toma de decisiones estratégicas.

**Procesos y Flujos de Trabajo:** Los procesos y flujos de trabajo en Titan Minerals SAS son robustos y están bien definidos. Sin embargo, existe una falta de

flexibilidad y adaptabilidad en la empresa para ajustarse a los cambios en el entorno empresarial y aprovechar las oportunidades emergentes.

**Recursos Humanos:** Los empleados de Titan Minerals SAS muestran un buen nivel de capacitación y competencias en sus respectivas áreas. Sin embargo, existe una falta de programas de desarrollo y capacitación continua para mejorar aún más las habilidades del personal y fomentar la retención de talento. Además, se observa una falta de diversidad en el liderazgo y la composición del equipo, lo que puede limitar la creatividad y la innovación en la toma de decisiones.

**Cultura Organizacional:** La empresa presenta una cultura organizacional orientada a la seguridad y el cumplimiento de las normas y regulaciones, lo cual es positivo dada la naturaleza de la industria minera. Sin embargo, se identifica una falta de cultura de colaboración y de enfoque en la sostenibilidad y la responsabilidad social corporativa, aspectos cada vez más importantes para mantener la licencia social y la reputación empresarial.

**Oportunidades y Amenazas:** En el contexto de Ecuador, se identifican oportunidades para Titan Minerals SAS en términos de la creciente demanda mundial de minerales y la estabilidad política y económica del país. Sin embargo, la empresa también enfrenta amenazas en relación con los cambios en los precios de los minerales, la competencia global y las regulaciones ambientales más estrictas.

Con base en el diagnóstico, se recomienda que Titan Minerals SAS considere medidas como la reevaluación de su estructura organizacional para fomentar una mayor participación y toma de decisiones descentralizada, la implementación de programas de desarrollo de talento a largo plazo, la promoción de una cultura de

colaboración y sostenibilidad, y el monitoreo constante de las oportunidades y amenazas del entorno empresarial. Es importante destacar que este es un ejemplo imaginario y no representa un diagnóstico real de la empresa minera Titanium Minerals SAS en Ecuador. Un diagnóstico organizacional debe ser realizado por profesionales calificados y basado en datos y evaluaciones actualizadas.

## **Capítulo IV Resultados**

### **4.1 Cuantificación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que permita el cálculo de la Huella de Carbono de un proyecto de pequeña minería en fase de exploración.**

La Huella de Carbono (HC) para las operaciones de minería a pequeña escala en el distrito Portovelo-Zaruma se centra en la extracción subterránea de minerales. El proceso sigue la perforación en función de la veta minera para proceder con la voladura, que busca fragmentar la roca usando explosivos. Posteriormente, el material resultante se extrae y transporta fuera de la mina, comúnmente utilizando carros mineros. Este material mineralizado se envía a una planta de beneficio, donde se somete a diversas etapas para extraer el oro. Estas etapas incluyen:

- Extracción: comprende la trituración y molienda del material.
- Concentración: a través de métodos como la cianuración, flotación y elución.
- Transformación: donde se funden los minerales para obtener el oro en su forma pura.

A lo largo de este proceso, se consumen diversos insumos y energía eléctrica, y se produce residuo sólido que se debe gestionar adecuadamente. Para analizar el

impacto, se ha tomado como referencia procesar 1 tonelada de material. A continuación, se presenta la Huella de Carbono para este proceso, desglosada en tres alcances, cuyos detalles se visualizarán en las tablas subsiguientes.

**4.1.1 Cálculo de la Huella de carbono de emisiones directas**

El cálculo para la Huella de Carbono (HC) de las emisiones directas dentro del Alcance 1 arrojó un valor de 37,53 tCO<sub>2</sub>eq. Este valor constituye el 5% del total de la HC de la mina. Para obtener el cálculo de estas emisiones para el Alcance 1, se utilizó la fórmula

$$Emisiones (tCO_{2eq}) = CC \times \rho \text{ combustible} \times (FE_{CO} + FE_{CH} \times PCG_{CH} + FE_{N_2O} \times PCG_{N_2O}) \times 10^{-9}$$

Dónde: Emisiones = Emisiones generadas de GEI, en tCO<sub>2</sub>eq

La fórmula indica que la cantidad de tCO<sub>2</sub>eq aumenta con el consumo de combustible en distintas áreas operativas. A continuación, se muestra el resumen tabulado de las emisiones de tCO<sub>2</sub>eq vinculadas al uso de tres tipos de combustibles esenciales, empleados mensualmente en la mina para: preparación de alimentos, traslado de material extraído y lubricación de equipos. Estos combustibles tienen un papel fundamental en las emisiones de HC de la actividad minera.

**Tabla 1**

*Resumen del cálculo Huella de Carbono de las emisiones directas de combustible*

Alcance 1_ Emisiones mensuales de consumo combustible (tCO <sub>2</sub> eq)			
Meses	Cantidad de Diésel (tCO <sub>2</sub> eq)	Cantidad de GLP (tCO <sub>2</sub> eq)	Cantidad lubricante usado (tCO <sub>2</sub> eq)

<b>Jul</b>	1,675	1,858	0,282
<b>Ago</b>	0,773	1,115	0,158
<b>Sep</b>	0,806	1,115	0,118
<b>Oct</b>	1,378	1,115	0,197
<b>Nov</b>	1,218	1,487	0,237
<b>Dic</b>	1,675	1,858	0,282
<b>Ene</b>	0,778	1,115	0,118
<b>Feb</b>	1,218	1,487	0,237
<b>Mar</b>	0,773	1,115	0,158
<b>Abr</b>	0,882	1,858	0,282
<b>May</b>	1,350	1,487	0,197
<b>Jun</b>	1,675	1,858	0,282
<b>Jul</b>	1,218	1,858	0,237
<b>Total</b>	15,419	19,327	2,784
<b>Total de emisiones generadas</b>		37,5 3	(tCO <sub>2</sub> eq)
<b>Emisiones tCO<sub>2</sub>eq MINA</b>			
	<b>Emisiones tCO<sub>2</sub>eq</b>	<b>PORCENTAJES</b>	
<b>Alcance 1</b>	<b>37,53</b>	<b>5%</b>	

Nota: La tabla muestra el resumen del cálculo de Huella de Carbono de las emisiones directas de combustible

De los resultados presentados, se observa que el GLP fue el mayor contribuyente a la HC del alcance 1, con 19,327 tCO<sub>2</sub>eq, representando el 51,5%. Esto fue seguido por el diésel, que contribuyó con 15,419 tCO<sub>2</sub>eq, equivalentes al 41,1%.

Es importante subrayar que, aunque el GLP representó el mayor porcentaje de HC debido al consumo de combustible, esto se debe a que en nuestro país es comúnmente usado para la cocción. En otras regiones, se podría preferir otros combustibles, aunque estudios muestran que el diésel tiene un alto potencial de generación de emisiones de HC.



**Tabla 2**

*Cálculo Huella de Carbono de las emisiones directas de combustible*

Cálculo de Huella de Carbono																
			Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Unidades
A1	Cantidadde Diésel	Camionetas	99	56	69	69	87	99	58	87	56	99	58	99	87	L
		Volqueta	560	248	248	473	392	560	248	392	248	248	473	560	392	L
		Total, mensual de diésel (gal)	659,00	304,00	317,00	542,00	479,00	659,00	306,00	479,00	304,00	347,00	531,00	659,00	479,00	L
		Emissiones tCO <sub>2</sub> eq	1,675	0,773	0,806	1,378	1,218	1,675	0,778	1,218	0,773	0,882	1,350	1,675	1,218	tCO <sub>2</sub> eq
			Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Unidades
A1	Cantidadde GLP	20kg/(0,54kilos/lt) cocina	1110,9	666,54	666,54	666,54	888,72	1110,9	666,54	888,72	666,54	1110,9	888,72	1110,9	1110,9	L
		Emissiones tCO <sub>2</sub> eq	1,858	1,115	1,115	1,115	1,487	1,858	1,115	1,487	1,115	1,858	1,487	1,858	1,858	tCO <sub>2</sub> eq
			Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Unidades
A1	Cantidad lubricante usado	Equipo de remoción perforadora	107	60	45	75	90	107	45	90	60	107	75	107	90	L
		Emissiones tCO <sub>2</sub> eq	0,282	0,158	0,118	0,197	0,237	0,282	0,118	0,237	0,158	0,282	0,197	0,282	0,237	tCO <sub>2</sub> eq
			Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Unidades
			Alcance 1_ Emisiones mensuales				Alcance 1_ Emisiones anual									
			(tCO <sub>2</sub> eq/kg)	Cantidad de Diésel	Cantidad de GLP	Cantidad lubricante usado	Emisiones tCO <sub>2</sub> eq									
			Jul	1,675	1,858	0,282	Cantidadde Diésel				15,42	Emissiones tCO <sub>2</sub> eq	41,1%			
			Ago	0,773	1,115	0,158	Cantidadde GLP				19,33	Emissiones tCO <sub>2</sub> eq	51,5%			
			Sep	0,806	1,115	0,118	Cantidad lubricante usado				2,78	Emissiones tCO <sub>2</sub> eq	7,4%			
			Oct	1,378	1,115	0,197										
			Nov	1,218	1,487	0,237										
			Dic	1,675	1,858	0,282										
			Ene	0,778	1,115	0,118										
			Feb	1,218	1,487	0,237										
			Mar	0,773	1,115	0,158										
			Abr	0,882	1,858	0,282										
			May	1,350	1,487	0,197										
			Jun	1,675	1,858	0,282										
			Jul	1,218	1,858	0,237										
			Total	15,419	19,327	2,784										

. Nota: La tabla muestra el cálculo de Huella de Carbono de las emisiones directas de combustible

Los datos indican que, en el Alcance 1, el principal elemento emisor es la energía derivada de los vehículos de transporte que utilizan diésel, constituyendo el 55% de las emisiones de HC, en comparación con otros combustibles como gasolina y GLP.

#### 4.1.2 La determinación de la Huella de Carbono (HC) de las emisiones indirectas Alcance 2

En el Alcance 2, referente a las emisiones indirectas de la HC derivadas del consumo eléctrico, se registró un total de 137,71 tCO<sub>2</sub>eq. Este valor corresponde al 20% del total de la HC La estimación se llevó a cabo utilizando la ecuación (9) y abarca el periodo desde julio de 2021 hasta julio de 2021. El anexo también muestra las emisiones mensuales y su contribución en relación con los GEI producidos.

**Tabla 3**

*Consumo de energía eléctrica de mina / Huella de Carbono del Alcance 2*

<b>Alcance 2_ Emisiones mensuales de consumo de energía eléctrica (tCO<sub>2</sub>eq)</b>				
<b>Meses</b>	<b>Cantidad energía eléctrica usada MWh</b>	<b>Factor de Emisión (tCO<sub>2</sub> / MWh)</b>	<b>Emisiones tCO<sub>2</sub>eq</b>	<b>Porcentaje de emisiones por mes</b>
<b>Jul</b>	19,35	0,5475	10,59	7,69%
<b>Ago</b>	3,28	0,5475	1,79	1,30%
<b>Sep</b>	2,41	0,5475	1,32	0,96%
<b>Oct</b>	2,16	0,5475	1,18	0,86%
<b>Nov</b>	3,46	0,5475	1,89	1,37%
<b>Dic</b>	2,22	0,5475	1,21	0,88%
<b>Ene</b>	7,43	0,5475	4,07	2,95%
<b>Feb</b>	33,11	0,5475	18,13	13,16%
<b>Mar</b>	20,05	0,5475	10,97	7,97%
<b>Abr</b>	44,69	0,5475	24,47	17,77%
<b>May</b>	38,96	0,5475	21,33	15,49%
<b>Jun</b>	34,77	0,5475	19,04	13,83%
<b>Jul</b>	39,65	0,5475	21,71	15,77%
<b>Total</b>	251,53	-	137,71	100%
<b>Emisiones tCO<sub>2</sub>eq MINA</b>				
	<b>Emisiones tCO<sub>2</sub>eq</b>		<b>PORCENTAJES</b>	
<b>Alcance 2</b>	137,71		20%	

Nota: La tabla muestra el resumen del cálculo de Huella de Carbono en el de energía eléctrica de mina

La energía eléctrica en la mina se utiliza para iluminación, necesidades personales y el funcionamiento del compresor de aire, resultando en un consumo anual de 251,53 MWh.

**Tabla 4**

*Cálculo de Huella de Carbono Alcance 2*

			Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Unidades
A2	Cantidad energía eléctrica causada	Luminarias y energía	19348	3276	2407	2157	3457	2217	7432	33110	20045	44692	38956	34774	39654	kWh
		Total mensual de consumo de energía	19,35	3,28	2,41	2,16	3,46	2,22	7,43	33,11	20,05	44,69	38,96	34,77	39,65	MWh
		FE (tCO <sub>2</sub> /MWh)	10,59	1,79	1,32	1,18	1,89	1,21	4,07	18,13	10,97	24,47	21,33	19,04	21,71	tCO <sub>2</sub> / MWh
<b>TOTAL = 137,71</b>															Emisiones (tCO <sub>2</sub> eq)	

**Tabla 5**

*Cálculo de Huella de Carbono Alcance 2 por mes*

Meses	Cantidad energía eléctrica usada MWh	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> / MWh)	Emisiones tCO <sub>2</sub> eq	Porcentaje de emisiones por mes
Jul	19,35	0,5475	10,59	7,69%
Ago	3,28	0,5475	1,79	1,30%
Sep	2,41	0,5475	1,32	0,96%
Oct	2,16	0,5475	1,18	0,86%
Nov	3,46	0,5475	1,89	1,37%
Dic	2,22	0,5475	1,21	0,88%
Ene	7,43	0,5475	4,07	2,95%
Feb	33,11	0,5475	18,13	13,16%
Mar	20,05	0,5475	10,97	7,97%
Abr	44,69	0,5475	24,47	17,77%
May	38,96	0,5475	21,33	15,49%
Jun	34,77	0,5475	19,04	13,83%
Jul	39,65	0,5475	21,71	15,77%
<b>Total</b>	<b>251,53</b>	-	<b>137,71</b>	<b>100%</b>

Nota: La tabla muestra el cálculo de Huella de Carbono en el de energía eléctrica de mina

De la información recolectada, se observa que los picos de consumo energético ocurren entre abril y julio, mientras que de agosto a diciembre se registra una disminución en el uso de electricidad. La energía consumida en los meses citados concuerda con las emisiones de HC reportadas, sugiriendo que hubo un incremento en el consumo de energía de abril a noviembre debido a la estación seca, caracterizada por la escasez de lluvias. Por otro lado, entre diciembre y marzo, en la época de lluvias, la demanda de energía tiende a reducirse, lo cual se traduce en una menor generación de HC. Esta reducción también se asocia con interrupciones frecuentes del suministro eléctrico y un consumo energético más bajo.

#### **4.1.3 La determinación de la Huella de Carbono (HC) de las emisiones indirectas Alcance 3**

Las emisiones indirectas de HC en el Alcance 3 se derivan de actividades indirectamente relacionadas con la operación normal de la mina durante el período estudiado. Esta evaluación anual abarca desde julio de 2021 hasta julio de 2022 e incluye aspectos como el consumo de papel, insumos, diversos materiales, aguas residuales y generación de residuos sólidos.

Es importante señalar que no se contabilizarán las emisiones de HC relacionadas con el consumo de agua, ya que en la mina se capta agua directamente de vertientes, lo cual no genera emisiones de HC. Esta agua se canaliza mediante tuberías de 6 pulgadas de diámetro para satisfacer tanto las necesidades personales como las operativas de la mina.

En cuanto a la evaluación del Alcance 3, se determinó que las emisiones indirectas ascienden a 522,35 tCO<sub>2</sub>eq, lo que constituye el 75% del total de HC de la mina.

Anualmente, en la mina se utiliza papel bond A4 de 75 g con un área de 0,0624 m<sup>2</sup>, comúnmente en tareas administrativas en las oficinas. Además, se usan hojas A2 de 52 g y un área de 0,4996 m<sup>2</sup> para envolver nitrato de amonio destinado a detonaciones. El consumo de papel contribuyó con 502,24 tCO<sub>2</sub>eq a las emisiones, lo que constituye el 96% del total del Alcance 3.

**Tabla 6**

*Cálculo de la Huella de Carbono generada a partir del consumo de papel*

Alcance 3_ Cantidad de papel (tCO <sub>2</sub> eq)													
Meses	Hoja A4						Hoja A2					TOTAL, DE CONSUMO	% Emisión mensual
	Factor de Emisión (tCO <sub>2</sub> eq/kg)	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Unidades	Peso en kg	Emisión (tCO <sub>2</sub> eq)	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Unidades	Peso en kg	Emisión (tCO <sub>2</sub> eq)		
Jul	0,00184	75	0,06237	500	23,39	0,04	52	0,499554	105000	27275,6484	50,19	50,23	10,0%
Ago	0,00184	75	0,06237	200	9,36	0,02	52	0,499554	60000	15586,0848	28,68	28,70	5,7%
Sep	0,00184	75	0,06237	100	4,68	0,01	52	0,499554	45000	11689,5636	21,51	21,52	4,3%
Oct	0,00184	75	0,06237	500	23,39	0,04	52	0,499554	75000	19482,606	35,85	35,89	7,1%
Nov	0,00184	75	0,06237	300	14,03	0,03	52	0,499554	90000	23379,1272	43,02	43,04	8,6%
Dic	0,00184	75	0,06237	500	23,39	0,04	52	0,499554	105000	27275,6484	50,19	50,23	10,0%
Ene	0,00184	75	0,06237	100	4,68	0,01	52	0,499554	45000	11689,5636	21,51	21,52	4,3%
Feb	0,00184	75	0,06237	300	14,03	0,03	52	0,499554	90000	23379,1272	43,02	43,04	8,6%
Mar	0,00184	75	0,06237	250	11,69	0,02	52	0,499554	60000	15586,0848	28,68	28,70	5,7%
Abr	0,00184	75	0,06237	500	23,39	0,04	52	0,499554	105000	27275,6484	50,19	50,23	10,0%
May	0,00184	75	0,06237	200	9,36	0,02	52	0,499554	75000	19482,606	35,85	35,87	7,1%
Jun	0,00184	75	0,06237	500	23,39	0,04	52	0,499554	105000	27275,6484	50,19	50,23	10,0%
Jul	0,00184	75	0,06237	350	16,37	0,03	52	0,499554	90000	23379,1272	43,02	43,05	8,6%
Total	-	-	-	-	-	0,37	-	-	-	-	501,87	502,24	100,0%

Nota: La tabla muestra el resumen del cálculo de Huella de Carbono generada a partir del consumo de papel

La tabla muestra el consumo de papel en unidades y su correspondiente peso en kilogramos. También se presenta la HC asociada, calculada con las ecuaciones

$$(\text{Peso por hoja (g)} = \text{Gramaje (g/m}^2) \times \text{Área (m}^2))$$

$$\text{Peso por hoja (kg)} = \text{Peso por hoja (g)} \times 10^{-3} \times \text{Cantidad de Hojas}$$

$$GEI (tCO_2eq) = \text{Peso total (kg)} \times FE$$

**Donde:**

GEI en tCO<sub>2</sub>eq= Emisiones en tCO<sub>2</sub>eq

FE: Factor de emisión del papel en tCO<sub>2</sub>eq/kg

Es evidente que la mina genera 502,24 tCO<sub>2</sub>eq derivados de su consumo anual de papel. Como se evidencia, el mayor consumo de papel A2 se destina a envolver nitrato de amonio para la detonación, representando el 99,93% (501,87 tCO<sub>2</sub>eq) de las emisiones en la HC. En contraste, el papel A4 utilizado en el área administrativa representa solo el 0,07% (0,37 tCO<sub>2</sub>eq) de estas emisiones.

#### **4.1.4 Huella de Carbono generada a partir del consumo de insumos y materiales**

Durante la explotación minera, se lleva a cabo la detonación para obtener el mineral rocoso que, posteriormente, se procesa para extraer el metal valioso, Au. Para lograr esta detonación se emplean diversos insumos, incluyendo Emulnor 3000 1x7 (masilla), Explogel III 1x7 (dinamita), mecha de seguridad negra, fulminante 8-47MM, todos categorizados bajo TNT, así como nitrato de amonio. Las emisiones de HC resultantes del consumo de estos insumos suman 19,78 tCO<sub>2</sub>eq, lo cual es equivalente al 4% del total del Alcance 3. La estimación de estas emisiones de HC se derivó usando la ecuación  $Emisiones_{insumo} = (CI \times FE)/1000$

**Donde:**

Emisiones insumo= Emisiones en tCO<sub>2</sub>eq CI= Consumo de insumos en kg

FE= Factor de emisión del papel en kgCO<sub>2</sub>eq/kg insumo

Los resultados detallados se presentan en la tabla a continuación.

**Tabla 7.**

*Huella de Carbono generada por consumo de insumos en voladura dentro de la mina*

Meses	Cantidad TNT			Nitrato de amonio			Total	% Emisión tCO <sub>2</sub> eq/t
	kg	FE tCO <sub>2</sub> eq/t	Emisión tCO <sub>2</sub> eq	kg	FE tCO <sub>2</sub> eq/t	Emisión tCO <sub>2</sub> eq		
<b>Jul</b>	823,23	0,17	0,14	5250	0,34	1,79	1,92	0,097
<b>Ago</b>	1321,03	0,17	0,22	3000	0,34	1,02	1,24	0,063
<b>Sep</b>	1300,30	0,17	0,22	2250	0,34	0,77	0,99	0,050
<b>Oct</b>	810,88	0,17	0,14	3750	0,34	1,28	1,41	0,071
<b>Nov</b>	1149,04	0,17	0,20	4500	0,34	1,53	1,73	0,087
<b>Dic</b>	923,91	0,17	0,16	5250	0,34	1,79	1,94	0,098
<b>Ene</b>	887,91	0,17	0,15	2250	0,34	0,77	0,92	0,046
<b>Feb</b>	611,78	0,17	0,10	4500	0,34	1,53	1,63	0,083
<b>Mar</b>	1263,84	0,17	0,21	3000	0,34	1,02	1,23	0,062
<b>Abr</b>	433,59	0,17	0,07	5250	0,34	1,79	1,86	0,094
<b>May</b>	702,03	0,17	0,12	3750	0,34	1,28	1,39	0,070
<b>Jun</b>	369,31	0,17	0,06	5250	0,34	1,79	1,85	0,093
<b>Jul</b>	754,20	0,17	0,13	4500	0,34	1,53	1,66	0,084
<b>Total</b>	-	-	1,93	-	-	17,85	19,78	100%

Nota: La tabla muestra el resumen del cálculo de Huella de Carbono generada por consumo de insumos en voladura dentro de la mina

Según los datos presentados, se evidencia que el insumo que más contribuye a las emisiones de HC es el nitrato de amonio, con una emisión de 17,85 tCO<sub>2</sub>eq, lo que representa el 90,2% de las emisiones totales relacionadas con los insumos para la detonación. Por otro lado, el TNT contribuye con 1,93 tCO<sub>2</sub>eq, lo cual corresponde al 9,8% de estas emisiones.

Mansilla *et al.* (2022), señalan que en una mina de cobre en Chile, se evidenció que el nitrato de amonio, utilizado como principal componente en explosivos para voladuras, generó emisiones de 57,33 KgCO<sub>2</sub>e/TMF Cu, lo cual representa un notable 559,43% de las emisiones totales de los insumos en términos de HC. Es relevante destacar que el nitrato de amonio, además de su uso en minería, es uno de los fertilizantes minerales más comunes y su aplicación en cultivos también genera una considerable cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

#### **4.1.5 Huella de Carbono generada a partir de la colección y disposición final de los residuos sólidos.**

Las actividades descritas anteriormente resultan en la generación de desechos sólidos, un aspecto medioambiental crítico. Estas operaciones han sido gestionadas para minimizar su impacto ambiental. En relación con la HC, la generación de estos residuos contribuyó con 0,364 tCO<sub>2</sub>eq, lo que equivale al 0,1% del Alcance 3. La ecuación **Emisiones (tCO<sub>2</sub>eq) = PTRRSS (Ton) x FE** por cada tipo de residuo

Dónde:

Emisiones (tCO<sub>2</sub>eq)= Emisiones proveniente de la generación de RRSS de la mina y planta de beneficio.

Fue utilizada para esta evaluación y los detalles se muestran en la tabla subsiguiente.

#### **Tabla 8.**

*Hella de Carbono a partir de la colección y disposición final de residuos solidos*

<b>Alcance 3_ Generada a partir de la colección y disposición final de los residuos sólidos</b>
---

<b>(tCO<sub>2</sub>eq)</b>				
Tipo o Tratamiento de Residuo	Ton	FE tCO <sub>2</sub> eq/t	Emisiones tCO <sub>2</sub> eq	% Emisión
Cartón	0,034	0,001	0,0003	0,07%
Barrero	0,99	0,01	0,0099	2,70%
Rulemanes	0,034	0,01	0,0003	0,09%
Residuos orgánicos	15,65	0,007	0,1096	30,08%
saquillos (PP)	2	1,95	0,0048	1,33%
Llantas	0,063	3,8	0,2394	65,73%
<b>TOTAL</b>	19,240	-	0,3642	100,00%

Nota: La tabla muestra el resumen del cálculo de Hella de Carbono a partir de la colección y disposición final de residuos solidos

La cantidad anual y el Factor de emisión para cada tipo de residuo sólido muestran que las llantas son las principales contribuyentes a la HC, con un 65,73%, seguidas por los residuos orgánicos con un 30,08% dentro del Alcance 3 asociado a la generación de desechos.

#### **4.2 Determinar los indicadores ambientales que permitan proponer acciones de mejora e identificar las oportunidades de disminución de la Huella de Carbono.**

Para el proyecto minero "Linderos", es crucial contar con indicadores que no solo evalúen el impacto ambiental actual, sino que también guíen las acciones para la reducción de la Huella de Carbono. A continuación, se proponen algunos indicadores ambientales específicos centrados en este objetivo:

##### **Indicador de Emisiones Totales:**

**Medición:** Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes (tCO<sub>2</sub>eq) emitidas anualmente.

**Objetivo:** Cuantificar y monitorear las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por las operaciones del proyecto a lo largo del año, permitiendo evaluar el impacto ambiental y diseñar estrategias de reducción.

**Procedimiento:**

- **Identificación de Fuentes de Emisión:** Se determinarán todas las fuentes directas e indirectas de emisiones de GEI, incluidos vehículos, maquinaria, consumo de electricidad, procesos de producción, entre otros.
- **Recolección de Datos:** Se recogerán datos relevantes, como consumo de combustible, horas de operación de maquinaria, y kilowatts consumidos, entre otros. Es esencial asegurar la precisión y veracidad de los datos recolectados.
- **Aplicación de Factores de Emisión:** Utilizando los factores de emisión correspondientes a cada fuente (por ejemplo, kg de CO<sub>2</sub> por litro de diésel consumido), se calcularán las emisiones totales en tCO<sub>2</sub>eq.
- **Análisis de Tendencias:** Con los datos recabados, se realizará un análisis para identificar patrones y tendencias, lo que permitirá reconocer áreas con mayor impacto y oportunidades de mejora.
- **Comparación con Objetivos:** Las emisiones totales se compararán con objetivos o límites previamente establecidos, ya sean internos o en cumplimiento de regulaciones o acuerdos externos.
- **Reporte y Documentación:** Se elaborará un informe anual detallando las emisiones de GEI, incluyendo metodologías, datos y resultados del análisis.

**Beneficios:**

- Permite reconocer áreas de oportunidad para implementar prácticas más sostenibles.
- Proporciona datos cuantitativos para la toma de decisiones y planificación estratégica.
- Favorece el cumplimiento de regulaciones y normativas ambientales.
- Aumenta la transparencia y responsabilidad frente a stakeholders y comunidades.
- Contribuye a la reputación y responsabilidad corporativa del proyecto.

**Recomendaciones:**

- Realizar auditorías periódicas para garantizar la precisión de los datos.
- Establecer un equipo dedicado para la gestión y análisis de las emisiones de GEI.
- Mantenerse actualizado sobre las mejores prácticas y tecnologías para la reducción de emisiones.

**Indicador de Eficiencia Energética:**

**Medición:** Energía consumida por tonelada de mineral extraído (MWh/t).

**Descripción:** Este indicador mide la eficiencia energética de los procesos de extracción de mineral en una mina. Al relacionar la cantidad de energía consumida con la cantidad de mineral extraído, se puede tener una idea clara de cuánta energía se necesita para extraer una unidad de mineral.

### **Importancia:**

- **Eficiencia Operativa:** Una menor cantidad de energía por tonelada extraída indica procesos mineros más eficientes y costos operativos potencialmente más bajos.
- **Impacto Ambiental:** La eficiencia energética tiene un impacto directo en las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero. Minimizar la energía consumida puede resultar en una reducción de la huella de carbono de la operación.
- **Benchmarking:** Este indicador permite comparar la eficiencia de diferentes operaciones mineras o la misma operación a lo largo del tiempo.

### **Pasos para la medición:**

- **Recopilación de Datos:** Registrar regularmente el consumo total de energía de la operación minera. Esto puede incluir electricidad, combustibles fósiles y cualquier otra fuente de energía utilizada.
- **Registro de Producción:** Mantener un registro actualizado de la cantidad total de mineral extraído durante el mismo período.
- **Cálculo:** Dividir el total de energía consumida por la cantidad total de mineral extraído para obtener la energía por tonelada.

### **Indicador de Consumo de Combustibles Fósiles:**

**Medición:** Litros de combustibles fósiles consumidos por tonelada de mineral extraído.

**Descripción:** Este indicador cuantifica la cantidad de combustibles fósiles, como diésel o gasolina, consumidos por unidad de mineral extraído en una operación minera. Ayuda a evaluar la eficiencia energética de los procesos y a identificar oportunidades para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

**Importancia:**

- **Eficiencia Energética:** Un menor consumo de combustibles fósiles por tonelada de mineral indica prácticas más eficientes y puede llevar a la reducción de costos operativos.
- **Impacto Ambiental:** La disminución del consumo de combustibles fósiles está directamente relacionada con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire.
- **Sostenibilidad:** La adopción de tecnologías y prácticas que reduzcan el consumo de combustibles fósiles contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de la operación minera.

**Pasos para la medición:**

- **Registro de Consumo de Combustibles:** Mantener un registro detallado del consumo de combustibles fósiles utilizado en la operación minera, incluyendo diésel, gasolina u otros combustibles.
- **Registro de Producción:** Registrar la cantidad total de mineral extraído durante el mismo período.
- **Cálculo:** Dividir el total de litros de combustibles fósiles consumidos por

la cantidad total de mineral extraído para obtener los litros por tonelada.

#### **Recomendaciones para la mejora:**

- **Adopción de Tecnologías Eficientes:** Considerar la implementación de maquinaria y equipos más eficientes en consumo de combustible.
- **Mantenimiento Preventivo:** Mantener un programa de mantenimiento preventivo para asegurar que los vehículos y equipos funcionen de manera óptima y consuman la menor cantidad de combustible posible.
- **Optimización de Rutas:** Planificar rutas de transporte eficientes y minimizar los desplazamientos innecesarios.
- **Uso de Vehículos de Bajas Emisiones:** Considerar la transición a vehículos eléctricos, híbridos o con tecnologías de emisiones reducidas.
- **Entrenamiento de Conductores:** Capacitar a los conductores en técnicas de conducción eficiente que reduzcan el consumo de combustible.

#### **Indicador de Reforestación:**

**Medición:** Número de árboles plantados anualmente.

**Descripción:** Este indicador cuantifica la cantidad de árboles que se plantan en la operación minera cada año como parte de programas de reforestación y restauración ambiental. El seguimiento de este indicador refleja el compromiso de la empresa con la mitigación del impacto ambiental y la promoción de la biodiversidad.

### **Importancia:**

- **Restauración Ambiental:** La reforestación contribuye a la restauración de áreas degradadas por la actividad minera, mejorando la calidad del suelo y la biodiversidad.
- **Captura de Carbono:** Los árboles capturan carbono atmosférico durante su crecimiento, lo que ayuda a compensar las emisiones de carbono generadas por la operación minera.
- **Responsabilidad Social:** La plantación de árboles muestra un compromiso tangible con la comunidad local y el entorno, mejorando la imagen corporativa y la relación con stakeholders.

### **Pasos para la medición:**

- **Planificación y Registro:** Planificar las áreas y fechas de plantación de árboles. Mantener un registro detallado de la cantidad de árboles plantados en cada área.
- **Mantenimiento y Supervisión:** Asegurarse de que los árboles plantados reciban el cuidado necesario, incluyendo riego y protección contra plagas.
- **Registro Anual:** Al final de cada año, contar y registrar el número total de árboles plantados.

### **Recomendaciones para la mejora:**

- **Elección de Especies:** Seleccionar especies de árboles nativas y adecuadas para el ecosistema local.
- **Seguimiento a Largo Plazo:** Realizar un seguimiento a lo largo de varios años para garantizar que los árboles sobrevivan y prosperen.
- **Participación Comunitaria:** Involucrar a la comunidad local en los programas de reforestación para generar un sentido de pertenencia y cuidado.
- **Educación Ambiental:** Realizar actividades educativas para concienciar a los empleados y la comunidad sobre la importancia de la reforestación.
- **Monitoreo de Impacto:** Evaluar el impacto a largo plazo de la reforestación en términos de biodiversidad, calidad del suelo y captura de carbono.

La implementación y seguimiento de este indicador pueden contribuir significativamente a la mejora del entorno y la sostenibilidad de la operación minera, al tiempo que brinda beneficios tangibles a la comunidad y al medio ambiente.

### **Indicador de Reciclaje de Agua:**

**Medición:** Porcentaje de agua reciclada en relación con el total de agua consumida.

**Descripción:** Este indicador evalúa la proporción de agua que se recicla en comparación con la cantidad total de agua consumida en la operación minera. Mide la eficiencia en el uso y reutilización del recurso hídrico, lo que es crucial para la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental.

**Importancia:**

- **Conservación del Agua:** El reciclaje del agua reduce la demanda de agua fresca, lo que es especialmente relevante en regiones con escasez hídrica.
- **Reducción de Desperdicio:** Reutilizar el agua reduce la cantidad de agua que se descarga como efluente y, por lo tanto, disminuye la contaminación ambiental.
- **Eficiencia Operativa:** El reciclaje del agua puede llevar a la reducción de costos asociados con la adquisición y tratamiento de agua.

**Pasos para la medición:**

- **Registro de Consumo y Reciclaje:** Mantener un registro preciso del agua consumida y el agua reciclada en la operación minera.
- **Cálculo del Porcentaje:** Dividir la cantidad de agua reciclada entre la cantidad total de agua consumida y multiplicar por 100 para obtener el porcentaje.

**Recomendaciones para la mejora:**

- **Implementación de Sistemas de Reciclaje:** Considerar la

implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales que permitan la recuperación y reutilización del agua.

- **Optimización de Procesos:** Identificar áreas donde se pueda reducir el consumo de agua y desarrollar estrategias para hacerlo.
- **Educación y Concienciación:** Capacitar al personal en prácticas de uso eficiente del agua y la importancia del reciclaje.
- **Auditorías de Agua:** Realizar auditorías periódicas para identificar oportunidades adicionales de reciclaje y reducción del consumo de agua.

La mejora en este indicador no solo contribuye a la sostenibilidad de la operación minera, sino que también demuestra el compromiso de la empresa con la gestión responsable del recurso hídrico y el medio ambiente.

### **Indicador de Desperdicio Minero**

**Medición:** Toneladas de residuos generados por tonelada de mineral extraído.

**Descripción:** Este indicador cuantifica la cantidad de residuos generados como resultado de la actividad minera en comparación con la cantidad de mineral extraído. Permite evaluar la eficiencia en la gestión de residuos y la minimización del impacto ambiental.

### **Importancia:**

- **Reducción de Residuos:** Un menor ratio de residuos por tonelada de mineral extraído indica prácticas más eficientes en la gestión de residuos

y la optimización de procesos.

- **Prevención de Contaminación:** La reducción de residuos disminuye el riesgo de contaminación del suelo y del agua en los alrededores de la operación minera.
- **Imagen Corporativa:** La gestión responsable de residuos mejora la imagen corporativa y demuestra compromiso con la sostenibilidad.

#### **Pasos para la medición:**

- **Registro de Residuos:** Registrar la cantidad total de residuos generados en la operación minera durante un período determinado.
- **Registro de Producción:** Mantener un registro actualizado de la cantidad de mineral extraído durante el mismo período.
- **Cálculo:** Dividir el total de toneladas de residuos entre la cantidad total de mineral extraído para obtener el ratio.

#### **Recomendaciones para la mejora:**

- **Minimización de Residuos:** Identificar oportunidades para reducir la generación de residuos en los procesos mineros.
- **Separación y Reciclaje:** Implementar programas de separación de residuos y promover el reciclaje cuando sea posible.
- **Gestión de Desechos Peligrosos:** Asegurarse de que los desechos peligrosos se manejen y dispongan de manera adecuada y segura.

- **Educación y Concienciación:** Capacitar al personal sobre la importancia de una gestión responsable de residuos y proporcionar pautas claras.
- **Optimización de Procesos:** Revisar los procesos mineros para identificar áreas donde se puedan reducir los residuos generados.

Mejorar este indicador no solo contribuye a la sostenibilidad de la operación minera, sino que también reduce el impacto ambiental y puede generar ahorros en costos asociados con la gestión de residuos.

#### **Indicador de Capacitación Ambiental:**

**Medición:** Horas de formación ambiental por empleado al año.

**Descripción:** Este indicador cuantifica el tiempo que los empleados de la operación minera dedican a la formación ambiental durante un año. Mide el compromiso de la empresa con la educación y la concienciación ambiental de su personal.

#### **Importancia:**

- **Concienciación:** La formación ambiental aumenta la concienciación sobre los impactos ambientales de las operaciones mineras y fomenta prácticas más sostenibles.
- **Mejora Continua:** Empleados capacitados pueden identificar oportunidades de mejora ambiental y proponer soluciones innovadoras.

- **Cumplimiento Normativo:** La formación puede ayudar a cumplir con regulaciones ambientales y a prevenir infracciones.

#### **Pasos para la medición:**

- **Registro de Horas de Formación:** Registrar las horas de formación ambiental proporcionadas a cada empleado durante un año.
- **Cálculo:** Calcular el promedio de horas de formación por empleado.

#### **Recomendaciones para la mejora:**

- **Programas de Formación Continua:** Diseñar programas de formación ambiental que aborden una variedad de temas relacionados con la sostenibilidad y la gestión ambiental.
- **Participación Activa:** Involucrar a los empleados en discusiones y actividades interactivas durante la formación.
- **Casos Prácticos:** Incluir ejemplos y estudios de casos relevantes para la operación minera.
- **Feedback y Evaluación:** Recopilar comentarios de los empleados sobre la formación y evaluar su efectividad.
- **Involucramiento de Expertos:** Invitar a expertos en sostenibilidad y medio ambiente para impartir sesiones de formación.

La mejora de este indicador asegura que los empleados estén bien informados y comprometidos con las prácticas sostenibles, lo que contribuye al éxito a largo plazo de la operación minera en términos ambientales y operativos.

## **Indicador de Inversiones en Tecnologías Limpias:**

**Medición:** Monto invertido en tecnologías limpias y sostenibles.

**Descripción:** Este indicador cuantifica la cantidad de recursos financieros que la operación minera destina a la adquisición e implementación de tecnologías limpias y sostenibles. Mide el compromiso de la empresa con la innovación y la reducción del impacto ambiental.

### **Importancia:**

- **Innovación:** La inversión en tecnologías limpias impulsa la adopción de prácticas más sostenibles y la mejora continua de las operaciones.
- **Reducción de Impacto:** Las tecnologías limpias pueden reducir emisiones, mejorar la eficiencia energética y minimizar la generación de residuos.
- **Competitividad:** La adopción de tecnologías avanzadas mejora la competitividad de la operación en un mercado cada vez más centrado en la sostenibilidad.

### **Pasos para la medición:**

- **Registro de Inversiones:** Mantener un registro detallado de las inversiones realizadas en tecnologías limpias y sostenibles.
- **Cálculo:** Sumar el monto total invertido en tecnologías limpias durante un período determinado.

## **Recomendaciones para la mejora:**

- **Evaluación de Oportunidades:** Identificar áreas clave donde la inversión en tecnologías limpias pueda tener un mayor impacto.
- **Benchmarking:** Analizar lo que otras operaciones mineras han implementado con éxito y considerar la adopción de tecnologías similares.
- **Evaluación de Retorno de la Inversión:** Evaluar los beneficios económicos y ambientales de cada inversión en tecnologías limpias.
- **Asesoramiento de Expertos:** Consultar a expertos en sostenibilidad y tecnologías limpias para tomar decisiones informadas.
- **Comunicación Transparente:** Comunicar a los stakeholders las inversiones realizadas y los beneficios obtenidos a través de tecnologías limpias.

Mejorar este indicador demuestra el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la búsqueda constante de soluciones tecnológicas que reduzcan el impacto ambiental de la operación minera.

## **Indicador de Huella de Carbono del Transporte:**

**Medición:** tCO<sub>2</sub>eq emitido por los vehículos y maquinaria de transporte.

**Descripción:** Este indicador cuantifica las emisiones de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq) producidas por los vehículos y maquinarias utilizadas en las

operaciones de transporte dentro del proyecto minero. Refleja la eficiencia y sostenibilidad del transporte utilizado en la mina.

### **Importancia:**

- **Impacto Ambiental:** El transporte es una de las principales fuentes de emisiones en muchos sectores, incluido el minero. Medir estas emisiones ayuda a comprender y, posteriormente, reducir su impacto.
- **Eficiencia Operativa:** Los vehículos y maquinarias más eficientes suelen consumir menos combustible, lo que puede traducirse en ahorros significativos.
- **Cumplimiento Normativo:** En muchas jurisdicciones, existen normas y regulaciones que establecen límites máximos de emisiones.

### **Pasos para la medición:**

- **Inventario de Flota:** Identificar y listar todos los vehículos y maquinarias utilizadas en el transporte.
- **Registro de Consumo:** Registrar el consumo de combustible de cada vehículo y maquinaria en un período determinado.
- **Cálculo:** Usar factores de emisión estándar para calcular las emisiones tCO<sub>2</sub>eq basadas en el consumo de combustible.

### **Recomendaciones para la mejora:**

- **Adopción de Tecnologías Limpias:** Considerar la incorporación de

vehículos eléctricos o híbridos en la flota.

- **Mantenimiento Regular:** Asegurarse de que todos los vehículos y maquinarias se mantengan regularmente para maximizar su eficiencia y reducir emisiones.
- **Capacitación de Conductores:** Implementar programas de capacitación para que los conductores adopten prácticas de conducción eficiente.
- **Planificación de Rutas:** Utilizar software y herramientas de logística para optimizar las rutas de transporte y reducir el consumo de combustible.
- **Renovación de la Flota:** Considerar la renovación periódica de vehículos y maquinarias antiguas por modelos más eficientes y con menores emisiones.

Medir y trabajar en la reducción de las emisiones de tCO<sub>2</sub>eq de los vehículos y maquinaria no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede ofrecer beneficios económicos al reducir el consumo de combustible.

#### **Indicador de Participación en Iniciativas de Carbono Neutral:**

**Medición:** Número de proyectos o iniciativas de carbono neutral en los que participa el proyecto minero.

**Descripción:** Este indicador refleja el compromiso activo del proyecto minero "Linderos" en la participación en proyectos o iniciativas dirigidos a alcanzar la

neutralidad de carbono. Estos proyectos pueden ser internos (implementados dentro de la organización) o externos (participación en proyectos de terceros).

### **Importancia:**

- **Responsabilidad Corporativa:** Mostrar el compromiso activo con la sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.
- **Reconocimiento en el Mercado:** Los proyectos de carbono neutral son altamente valorados y pueden proporcionar un punto diferencial respecto a competidores.
- **Beneficios Económicos:** Participar en ciertos proyectos de carbono neutral puede traer incentivos fiscales o subsidios.
- **Reducción de Riesgos:** Estar preparados ante futuras regulaciones o normativas más estrictas relacionadas con emisiones.

### **Pasos para la medición:**

- **Inventario de Iniciativas:** Hacer un listado de todos los proyectos y/o iniciativas en los que el proyecto minero está involucrado, ya sea directa o indirectamente.
- **Validación:** Asegurarse de que cada proyecto o iniciativa listada cumple con criterios reconocidos para la neutralidad de carbono.
- **Actualización:** Revisar y actualizar este inventario regularmente para reflejar nuevas participaciones o la finalización de proyectos.

## Recomendaciones para la mejora:

- **Identificación de Oportunidades:** Investigar y buscar oportunidades para participar en más proyectos que promuevan la neutralidad de carbono.
- **Asociaciones:** Establecer alianzas con organizaciones o entidades que promuevan iniciativas de carbono neutral.
- **Promoción Interna:** Fomentar una cultura corporativa en la que la participación en estos proyectos sea valorada y promovida.
- **Comunicación Externa:** Informar y comunicar a stakeholders, incluidos clientes y socios, sobre la participación en estas iniciativas, resaltando el compromiso con la sostenibilidad.
- **Evaluación y Feedback:** Establecer métricas para evaluar el impacto y éxito de la participación en estas iniciativas y usar esta información para mejorar la estrategia de participación.

Medir la participación activa en proyectos de carbono neutral ayuda a la mina "Linderos" a destacar su compromiso con el medio ambiente y posicionarse como líder en sostenibilidad en el sector minero. Monitoreando estos indicadores, el proyecto minero "Linderos" podrá identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para reducir su Huella de Carbono. Es importante revisar y actualizar estos indicadores regularmente para asegurar su relevancia y efectividad en el tiempo.

#### **4.3 Plantear las medidas de compensación aplicables para alcanzar la neutralidad.**

**Acción de mejora:** Implementar tecnologías más limpias y eficientes en los procesos mineros.

**Descripción:** Esta acción se refiere a la adopción y adaptación de tecnologías y métodos innovadores en el proceso minero que sean menos perjudiciales para el medio ambiente, que reduzcan el consumo de recursos y que minimicen las emisiones de GEI.

##### **Pasos para la implementación:**

- **Evaluación Técnica:** Realizar un análisis detallado de las tecnologías y métodos actuales utilizados en el proyecto minero "Linderos".
- **Investigación de Alternativas:** Investigar y evaluar tecnologías emergentes y mejores prácticas que se están implementando en la industria minera a nivel global.
- **Costo-Beneficio:** Analizar la relación costo-beneficio de la adopción de tecnologías más limpias, teniendo en cuenta factores como el retorno de inversión, reducción de costos operativos y beneficios ambientales.
- **Capacitación del Personal:** Una vez seleccionada la tecnología, es esencial capacitar al personal sobre su correcta utilización y mantenimiento.
- **Monitoreo y Retroalimentación:** Establecer mecanismos de monitoreo y control para evaluar la efectividad de las nuevas tecnologías y realizar ajustes

según sea necesario.

**Acción de mejora:** Uso de maquinaria de bajo consumo y fomentar la adopción de energías renovables.

**Descripción:** Esta acción implica el reemplazo y/o modernización de la maquinaria existente por equipos más eficientes en términos de consumo energético y, simultáneamente, promover la incorporación de fuentes de energía renovable en las operaciones del proyecto minero "Linderos".

**Pasos para la implementación:**

- **Diagnóstico Energético:** Realizar un análisis del consumo energético actual, identificando las máquinas y procesos que más energía consumen.
- **Identificación de Alternativas:** Investigar el mercado en busca de maquinaria y equipos con características de bajo consumo energético y alta eficiencia.
- **Evaluación de Fuentes Renovables:** Estudiar la viabilidad de integrar fuentes de energía renovable, como la solar, eólica o hidroeléctrica, en las operaciones de la mina.
- **Plan de Transición:** Desarrollar un plan escalonado para reemplazar o actualizar la maquinaria y para la integración de las fuentes de energía renovable.
- **Capacitación y Sensibilización:** Brindar capacitación al personal sobre el uso y mantenimiento de la nueva maquinaria y sobre la importancia y

beneficios de las energías renovables.

- **Monitoreo Continuo:** Establecer indicadores y sistemas de monitoreo para evaluar el ahorro energético y la reducción en emisiones de GEI.

**Tabla 9**

*Presupuesto Implementar tecnologías más limpias y eficientes en los procesos mineros.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Evaluación Técnica</b>	Consultoría especializada	1	50	50
	Análisis de tecnologías existentes	1	20	20
<b>Adquisición de Tecnología</b>	Maquinaria de procesamiento eco-eficiente	5	150	750
	Sistemas de filtrado de emisiones	3	100	300
	Software de gestión y monitorización	1	30	30
<b>Instalación y Puesta en Marcha</b>	Instalación de maquinaria	5	20	100
	Capacitación del personal	3	10	30
<b>Mantenimiento y Actualizaciones</b>	Mantenimiento anual	1	50	50
	Actualizaciones de software	1	20	20
			<b>Total</b>	1350

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 1

**Acción de mejora:** Transición hacia vehículos y maquinaria eléctrica o híbrida.

**Descripción:** Esta acción busca reemplazar la flota actual de vehículos y maquinaria con motores a combustión por alternativas eléctricas o híbridas, contribuyendo a la reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero y a una operación más sostenible y eficiente en el proyecto minero "Linderos".

**Pasos para la implementación:**

- **Evaluación de la Flota Actual:** Identificar los vehículos y maquinarias con mayor consumo de combustible y mayor antigüedad.

- **Investigación de Alternativas:** Explorar el mercado en busca de vehículos y maquinaria eléctrica o híbrida que se adapten a las necesidades operativas de la mina.
- **Análisis Costo-Beneficio:** Estudiar la inversión necesaria para la transición y compararla con los ahorros proyectados en combustible y mantenimiento a largo plazo.
- **Plan de Implementación:** Establecer un cronograma para la adquisición e integración de los nuevos vehículos y maquinaria, considerando la vida útil de los equipos actuales y las prioridades operativas.
- **Capacitación:** Ofrecer cursos y talleres para el personal sobre el uso, mantenimiento y ventajas de los vehículos y maquinarias eléctricas o híbridas.
- **Monitoreo y Evaluación:** Implementar indicadores de desempeño para evaluar la eficiencia y efectividad de la nueva flota en términos de consumo energético y reducción de emisiones.

**Tabla 10**

*Presupuesto Transición hacia vehículos y maquinaria eléctrica o híbrida.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Evaluación y Planificación</b>	Estudio de factibilidad técnica y económica	1	250	250
	Asesoramiento especializado	1	150	150
<b>Adquisición de Vehículos y Maquinaria</b>	Camiones eléctricos para minería	5	15000	75000
	Maquinaria eléctrica (excavadoras, cargadores)	5	1500	7500
<b>Infraestructura de Carga</b>	Estaciones de carga rápida	3	2500	7500
	Mejoras en red eléctrica para soportar carga	3	150	450
<b>Capacitación y Adaptación</b>	Capacitación del personal	3	1000	3000
	Adaptación de talleres y garajes	1	3200	3200
			<b>TOTAL</b>	<b>97050</b>

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 2

**Acción de mejora:** Implementar un programa de reforestación intensiva en zonas afectadas por la minería.

**Descripción:** La actividad minera, por su naturaleza, suele alterar el paisaje y el ecosistema local. Un programa de reforestación busca recuperar y rehabilitar áreas degradadas, mejorar la calidad del aire y suelo, y restablecer el hábitat para la fauna local, contribuyendo de manera significativa a la compensación de las emisiones de carbono.

**Pasos para la implementación:**

- **Evaluación de Áreas Afectadas:** Identificar y mapear las zonas degradadas o alteradas por las actividades mineras que requieran reforestación.
- **Selección de Especies:** Optar por especies nativas que se adapten al clima y suelo local, y que puedan contribuir a la biodiversidad del área.
- **Preparación del Terreno:** Realizar actividades de remediación del suelo si es necesario, como el enriquecimiento con compost o la eliminación de contaminantes.
- **Plantación:** Organizar jornadas de plantación, considerando la mejor época del año para asegurar la supervivencia de las plantas.
- **Mantenimiento:** Establecer un régimen de cuidado y seguimiento para las áreas reforestadas, que incluya riego, protección contra plagas, y replantación en caso de ser necesario.
- **Monitoreo y Evaluación:** Utilizar indicadores para medir el éxito del programa, como la tasa de supervivencia de los árboles, el retorno de

especies animales, y la cantidad de CO2 capturado.

**Tabla 11**

*Presupuesto Implementar un programa de reforestación intensiva en zonas afectadas por la minería.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Evaluación y Planificación</b>	Estudio de suelos y biodiversidad	1	200	200
	Diseño del proyecto de reforestación	1	200	200
<b>Adquisición de Plantas</b>	rboles nativos	500	2	1000
	Plantas menores y arbusto	500	1	500
<b>Preparación del Terreno</b>	Limpieza y preparación del suelo	100	50	5000
	Fertilizantes y enmiendas del suelo	100	20	2000
	Mano de obra para plantación	100	5	500
<b>Plantación</b>	Herramientas y equipos	5	25	125
	Riego y cuidado	100	0,5	50
	Control de plagas y enfermedades	100	5	500
<b>Mantenimiento</b>			TOTAL	10075

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 3

**Acción de mejora:** Invertir en sistemas de tratamiento y reciclaje de agua.

**Descripción:** La minería es una de las industrias que más consume agua en sus operaciones. Implementar sistemas de tratamiento y reciclaje de agua significa reducir la dependencia del recurso hídrico externo, disminuir la descarga de aguas residuales al ambiente, y contribuir a una gestión sostenible del agua.

**Pasos para la implementación:**

- **Diagnóstico del Uso Actual del Agua:** Determinar el volumen y la calidad del agua utilizada y descargada en las operaciones mineras.
- **Identificación de Fuentes de Contaminación:** Reconocer y analizar puntos en el proceso donde el agua puede estar siendo contaminada.
- **Diseño del Sistema:** Elegir tecnologías adecuadas de tratamiento según el tipo y grado de contaminación presente en el agua.
- **Instalación de Infraestructura:** Construir plantas de tratamiento,

sistemas de recogida de aguas pluviales, y sistemas de reciclaje según sea necesario.

- **Monitoreo Continuo:** Establecer rutinas de control de la calidad del agua tratada y reciclada para garantizar su adecuado uso en las operaciones.
- **Educación y Capacitación:** Formar al personal sobre la importancia y el uso correcto de los sistemas de tratamiento y reciclaje de agua.

**Tabla 12**

*Presupuesto Implementar un programa de reforestación intensiva en zonas afectadas por la minería.*

Ítem	Descripción	Catidad	Costo unitario	Costo total
<b>Evaluación y Planificación</b>	Estudio de calidad de agua y necesidades	1	200	200
	Diseño del sistema de tratamiento y reciclaje	1	150	150
<b>Infraestructura</b>	Construcción de planta de tratamiento	1	2500	2500
	Equipos de filtración y purificación	1	1500	1500
	Tanques de almacenamiento de agua reciclada	3	15	45
<b>Sistemas de Monitoreo</b>	Sensores de calidad de agua	10	5	50
	Sistema de gestión y monitoreo	1	150	150
<b>Capacitación y Formación</b>	Entrenamiento para empleados	2	30	60
<b>Mantenimiento</b>	Contrato anual de mantenimiento	1	150	150
	Repuestos y consumibles	1	100	100
			<b>TOTAL</b>	<b>4905</b>

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 4

**Acción de mejora:** Implementar técnicas de minería de precisión y reciclaje de materiales.

**Descripción:** La minería de precisión utiliza tecnología avanzada para maximizar la extracción de minerales, minimizando el desperdicio y el impacto en el entorno circundante. Junto con el reciclaje de materiales utilizados en las operaciones

mineras, se puede reducir el volumen de desechos, la necesidad de nuevos recursos y disminuir la huella de carbono de la mina.

### **Pasos para la implementación:**

- **Evaluación de la Situación Actual:** Revisar los métodos y tecnologías actuales de minería y determinar áreas de mejora.
- **Inversión en Tecnología:** Adquirir y adaptar tecnologías de precisión como sensores, drones, sistemas de monitoreo en tiempo real y software avanzado de análisis de datos.
- **Capacitación de Personal:** Entrenar al personal en las nuevas técnicas y tecnologías, asegurando su correcta aplicación.
- **Establecer Protocolos de Reciclaje:** Identificar materiales reciclables generados en el proceso minero y establecer protocolos para su recolección, tratamiento y reutilización.
- **Monitoreo y Ajustes:** Monitorear continuamente la eficacia de las técnicas de minería de precisión y los procesos de reciclaje, haciendo ajustes cuando sea necesario.

**Tabla 13**

*Presupuesto Implementar técnicas de minería de precisión y reciclaje de materiales.*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Catidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Evaluación y Planificación</b>	Evaluación técnica y estudio de viabilidad	1	200	200
	Diseño del sistema y elección de tecnologías	1	150	150
<b>Equipamiento y Tecnología</b>	Sistemas de monitoreo y sensores para minería de precisión	1	150	150
	Maquinaria para reciclaje de materiales	1	150	150
<b>Capacitación y Formación</b>	Cursos de minería de precisión	2	270	540
	Capacitación en manejo de equipos de reciclaje	2	200	400
<b>Mantenimiento</b>	Integración con operaciones actuales	1	100	100
	Costos de instalación y puesta en marcha	1	120	120
			<b>TOTAL</b>	<b>1810</b>

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 5

**Acción de mejora:** Crear un programa continuo de formación en sostenibilidad y reducción de la Huella de Carbono.

**Descripción:** El conocimiento es fundamental para impulsar un cambio positivo. Un programa estructurado y continuo de formación proporcionará al personal las herramientas y la comprensión necesarias para implementar prácticas sostenibles y reducir la huella de carbono en sus respectivas áreas de trabajo.

**Pasos para la implementación:**

- **Diagnóstico Inicial:** Realizar encuestas o entrevistas para determinar el nivel de conocimiento actual del personal sobre sostenibilidad y huella de carbono.
- **Desarrollo del Contenido:** Crear módulos educativos adaptados a las necesidades de la empresa y a la comprensión previa del personal.
- **Implementación de la Formación:** Organizar sesiones regulares, ya sean presenciales, en línea o híbridas, asegurando que todos los empleados tengan acceso.
- **Evaluación y Retroalimentación:** Después de cada sesión formativa, recoger feedback y evaluar la comprensión y aplicación de lo aprendido.
- **Actualizaciones Constantes:** La sostenibilidad y la ciencia del cambio climático están en constante evolución. Es fundamental mantener el programa actualizado con las últimas investigaciones y mejores prácticas.

**Tabla 14**

*Presupuesto Crear un programa continuo de formación en sostenibilidad y reducción de la Huella de Carbono.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Diseño y Planificación del Programa</b>	Consultoría y diseño del programa	1	200	200
<b>Materiales y Contenido de Formación</b>	Materiales didácticos (manuales, videos, etc.)	1	250	250
	Licencia de software o plataformas e-learning	1	150	150
<b>Formadores y Capacitadores</b>	Honorarios de formadores especializados   Por sesión	12	35	420
	<b>Logística y Espacio</b>	Alquiler de espacios para formación (si es necesario)	5	60
<b>Evaluación y Seguimiento</b>	Equipo y tecnología (proyectores, audio, etc.)	1	150	150
	Herramientas de evaluación y feedback	1	60	60
	Actualización de materiales y contenido	1	79	79
			<b>TOTAL</b>	<b>1609</b>

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 6

**Acción de mejora:** Destinar un porcentaje fijo del presupuesto anual a la investigación y adopción de tecnologías más limpias.

**Descripción:** Para asegurar un compromiso constante en la reducción del impacto ambiental y promover la innovación en las operaciones, es esencial asignar un porcentaje específico del presupuesto anual para explorar y adoptar tecnologías más limpias y sostenibles.

#### **Pasos para la implementación:**

- **Evaluación Financiera:** Analizar el presupuesto actual y determinar un porcentaje viable que pueda ser destinado a la iniciativa sin comprometer otras operaciones esenciales.
- **Creación de un Comité de Innovación:** Establecer un equipo

interdisciplinario encargado de investigar, evaluar y recomendar tecnologías más limpias para la empresa.

- **Planificación Estratégica:** Desarrollar un plan a corto, mediano y largo plazo que defina los objetivos, metas y cronogramas para la adopción de estas tecnologías.
- **Monitoreo y Evaluación:** Establecer indicadores de desempeño para evaluar la efectividad y el retorno de inversión de las tecnologías implementadas.
- **Retroalimentación y Ajustes:** A medida que se adopten tecnologías y se recopilen datos, hacer ajustes al enfoque según sea necesario.

**Tabla 15**

*Presupuesto Destinar un porcentaje fijo del presupuesto anual a la investigación y adopción de tecnologías más limpias.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Investigación y Desarrollo</b>	Investigación en tecnologías más limpias	1	200	200
	Desarrollo de prototipos y pruebas	1	150	
<b>Adquisición de Tecnología</b>	Adquisición de tecnologías más limpias identificadas	2	130	260
	Instalación y configuración	1	80	80
<b>Capacitación y formación</b>	Capacitación del personal en la nueva tecnología	2	80	160
<b>Mantenimiento y Actualizaciones</b>	Soporte y mantenimiento de las tecnologías adquiridas	5	60	300
	Actualizaciones basadas en la retroalimentación	2	60	120
<b>Evaluación y Seguimiento</b>	Herramientas para evaluar el rendimiento y eficiencia	1	60	60
	Encuestas y estudios para medir el impacto	1	85	85
			<b>TOTAL</b>	<b>1265</b>

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 7

**Acción de mejora:** Implementación de rutas de transporte más eficientes y fomento de medios de transporte con menores emisiones.

**Descripción:** La optimización de las rutas de transporte y la promoción de vehículos de bajas emisiones son esenciales para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia operativa. Esta estrategia busca minimizar las distancias recorridas, los tiempos de tránsito y la cantidad de combustible utilizado en las operaciones de transporte del proyecto minero.

**Pasos para la implementación:**

- **Análisis de Rutas Actuales:** Evaluar las rutas actuales de transporte, identificando áreas de congestión, distancias innecesarias y tiempos de espera.
- **Optimización de Rutas:** Utilizar software especializado para planificar las rutas más directas y eficientes, considerando variables como la hora del día, el tipo de vehículo y la carga.
- **Transición a Vehículos de Bajas Emisiones:** Evaluar la flota actual y planificar la incorporación gradual de vehículos eléctricos, híbridos o que utilicen combustibles alternativos.
- **Capacitación del Personal:** Organizar sesiones de capacitación para conductores y operadores sobre las mejores prácticas de conducción eficiente.
- **Monitoreo y Retroalimentación:** Establecer sistemas de seguimiento

para evaluar la eficacia de las rutas y recoger feedback de los conductores.

**Tabla 16**

*Presupuesto Implementación de rutas de transporte más eficientes y fomento de medios de transporte con menores emisiones.*

Ítem	Descripción	Catidad	Costo unitario	Costo total
<b>Evaluación y Planificación</b>	Contratación de un especialista en logística	1	250	250
	Herramientas y software de optimización de rutas	1	200	200
<b>Capacitación y Formación</b>	Capacitación para conductores y logística en eficiencia de rutas	2	200	400
	Workshops sobre la importancia de la eficiencia en el transporte	2	250	500
<b>Adquisición de Vehículos</b>	Inversión en vehículos híbridos o eléctricos	3	15000	45000
	Infraestructura para puntos de carga para vehículos eléctricos	2	2500	5000
<b>Mantenimiento y Actualizaciones</b>	Mantenimiento especializado para vehículos híbridos o eléctricos	3	400	1200
	Actualizaciones de software de optimización de rutas	4	350	1400
<b>Evaluación y Retroalimentación</b>	Monitoreo y seguimiento del rendimiento de rutas	2	250	500
	Encuestas y feedback de conductores y personal de logística	2	85	170
			<b>TOTAL</b>	<b>54620</b>

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 8

**Acción de mejora:** Involucrarse en más programas y certificaciones de neutralidad de carbono.

**Descripción:** Participar activamente en programas y obtener certificaciones relacionadas con la neutralidad de carbono permite a las empresas mineras demostrar su compromiso con la sostenibilidad y validar sus esfuerzos en la reducción de emisiones. A través de estas iniciativas, la empresa puede establecer y alcanzar objetivos claros de reducción de carbono, mejorando su imagen y fomentando prácticas más sostenibles en toda la industria.

## **Pasos para la implementación:**

- **Investigación y Evaluación:** Identificar y analizar programas y certificaciones relevantes de neutralidad de carbono disponibles en el mercado y adaptados al sector minero.
- **Evaluación Interna:** Realizar una auditoría interna para determinar el estado actual de las emisiones de carbono de la empresa y definir áreas de mejora.
- **Establecimiento de Objetivos:** Definir metas claras y medibles en función de la reducción de emisiones, tomando como referencia las recomendaciones de los programas seleccionados.
- **Desarrollo e Implementación:** Crear y ejecutar un plan de acción detallado que incluya estrategias específicas para alcanzar los objetivos de reducción.
- **Auditoría Externa y Certificación:** Una vez alcanzados los objetivos, buscar una auditoría externa y obtener la certificación correspondiente.
- **Comunicación y Participación:** Informar a los stakeholders sobre el compromiso de la empresa con la neutralidad de carbono y promover la participación activa en iniciativas relacionadas.

**Tabla 17**

*Presupuesto Involucrarse en más programas y certificaciones de neutralidad de carbono.*

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
<b>Evaluación Inicial y Diagnóstico</b>	Contratación de consultores especializados	1	250	250
	Auditorías de emisiones y evaluaciones iniciales	1	200	200
<b>Certificaciones y Participación en Programas</b>	uotas de inscripción a programas y certificaciones	2	300	600
	Costos de verificación y monitoreo	2	160	320
<b>Acciones de Compensación</b>	Inversiones en proyectos de reforestación o energías limpias	2	1500	3000
	Compra de créditos de carbono	5	350	1750
<b>Capacitación y Sensibilización</b>	Capacitación para el personal sobre prácticas sostenibles	3	200	600
	Campañas de sensibilización y promoción interna	4	250	1000
	Renovación anual de certificaciones y programas	2	150	300
<b>Mantenimiento y Renovación</b>	Auditorías y verificaciones periódicas	4	100	400
			TOTAL	8420

*Nota:* La tabla muestra el presupuesto de la acción de mejora 9

## Capítulo V Sugerencias

La pequeña minería ha sido tradicionalmente una de las actividades económicas más importantes en varias regiones del mundo, pero también ha sido asociada con un alto impacto ambiental. En la era del cambio climático, es crucial que todos los sectores productivos, incluyendo la minería, adopten prácticas sostenibles y busquen reducir sus emisiones de carbono. La carbono neutralidad se presenta como una meta a alcanzar para garantizar un desarrollo sustentable.

Durante siglos, la pequeña minería ha sido la columna vertebral de muchas economías regionales, proporcionando empleo y fomentando el desarrollo local. Sin embargo, como muchas otras actividades industriales, ha dejado una huella ambiental significativa, afectando la calidad del aire, del agua y desencadenando la pérdida de biodiversidad. El cambio climático, exacerbado por las emisiones humanas de gases de efecto invernadero, amenaza la estabilidad de nuestros sistemas ecológicos y, por ende, nuestro modo de vida. El reciente incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos ha hecho que la mitigación del cambio climático sea una prioridad global.

A pesar de su contribución al desarrollo económico, la minería, incluida la pequeña minería, es una fuente considerable de emisiones. Desde la deforestación y perturbación del suelo hasta el uso intensivo de recursos y energía, cada etapa del proceso minero tiene implicaciones para el clima. Sin embargo, la minería también es esencial para la transición hacia una economía más verde, proporcionando los materiales necesarios para tecnologías limpias, como los paneles solares y las baterías eléctricas.

La carbono neutralidad implica equilibrar la cantidad de CO2 emitido con la cantidad eliminada o compensada. Alcanzar la carbono neutralidad en la pequeña minería significa adoptar tecnologías y prácticas más limpias, restaurar ecosistemas afectados y compensar las emisiones inevitables.

- **Adopción de Tecnología Verde:** Utilizar maquinaria eficiente, combustibles limpios y fuentes de energía renovable puede reducir drásticamente las emisiones directas.
- **Prácticas Mineras Sostenibles:** Minimizar la perturbación del terreno, gestionar adecuadamente los desechos y reducir el uso de recursos.
- **Reforestación y Conservación:** La restauración de áreas degradadas y la conservación activa pueden actuar como sumideros de carbono, compensando las emisiones.

La transición hacia una minería carbono neutral no sólo aborda el cambio climático. Las prácticas mineras sostenibles pueden mejorar la salud pública, conservar la biodiversidad y fomentar la confianza comunitaria. Además, al ser pioneros en sostenibilidad, los operadores mineros pueden obtener ventajas competitivas y acceder a mercados más exigentes en criterios ambientales.

Antes de implementar cualquier medida, es esencial determinar la huella de carbono actual del proyecto minero. Esto implica cuantificar todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) directas e indirectas asociadas con las actividades de exploración. El conocimiento exacto de las emisiones permitirá establecer una línea base y diseñar estrategias adecuadas.

Para ello, es vital considerar diferentes fuentes de emisión dentro del proyecto minero. Las emisiones directas se refieren principalmente a las provenientes de los procesos propios de la minería, como la combustión de combustibles fósiles en maquinaria pesada, procesos de refinado y fundición, así como la liberación de metano en minas subterráneas.

Por otro lado, las emisiones indirectas pueden estar relacionadas con el consumo de electricidad proveniente de fuentes no renovables, el transporte de materiales y minerales, así como el ciclo de vida de los productos químicos y otros insumos utilizados en la explotación. Además, no se deben pasar por alto las emisiones derivadas de la construcción de infraestructuras y las actividades de mantenimiento.

Una vez que se tenga un inventario completo de las emisiones, es posible compararlo con estándares industriales o benchmarks para entender mejor cómo se ubica el proyecto en términos de sostenibilidad. Esta comparación puede ayudar a identificar áreas de mejora y oportunidades para reducir emisiones.

A partir de la línea base establecida, las empresas mineras pueden definir metas y objetivos concretos para la reducción de sus emisiones. Estos objetivos deben ser realistas y alineados con las capacidades tecnológicas y financieras de la empresa, pero también ambiciosos para asegurar una transición hacia una minería más sostenible.

Finalmente, es importante establecer mecanismos de seguimiento y evaluación. La medición y reporte periódico de las emisiones permitirá evaluar el progreso hacia las metas establecidas y, si es necesario, ajustar las estrategias

implementadas. La transparencia y rendición de cuentas en este proceso no solo mejorará la imagen de la empresa frente a sus stakeholders, sino que también incentivará la búsqueda constante de innovaciones y prácticas más limpias en el sector minero.

Realizar una evaluación de la huella de carbono del proyecto es una herramienta esencial para comprender y mitigar el impacto ambiental de cualquier iniciativa. Esta evaluación debe ser integral, considerando cada detalle y cada etapa del proceso de exploración.

Primero, en la fase de preparación del terreno, es crucial tener en cuenta las emisiones derivadas de la deforestación, movimientos de tierra, y cualquier otro tipo de alteración del suelo y la vegetación. Asimismo, el transporte de maquinaria y equipos al sitio de exploración, el consumo de energía y agua, y la producción y transporte de materiales contruidos son factores que contribuyen a la huella de carbono en esta etapa.

A medida que se avanza hacia la fase de exploración propiamente dicha, es necesario considerar las emisiones producidas por la perforación, las pruebas, y cualquier otro proceso que implique la liberación de gases al ambiente. Los vehículos y maquinaria empleados, la generación de residuos, y el uso de productos químicos, también deben ser contabilizados en esta fase.

En la fase de extracción de las muestras, no solo es vital medir las emisiones directas resultantes del proceso, sino también las indirectas. Esto puede incluir, por ejemplo, la energía utilizada para procesar y analizar las muestras, el transporte de

estas a laboratorios o centros de análisis, y la disposición final de los residuos generados.

Una vez recopilada toda esta información, es posible identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero asociadas al proyecto. Con este conocimiento, se pueden establecer objetivos de reducción realistas y medibles, así como estrategias para alcanzarlos. Estos objetivos no solo mejorarán la sostenibilidad del proyecto, sino que también podrían resultar en ahorros económicos a largo plazo y en una mejor aceptación por parte de la comunidad y stakeholders interesados.

Adicionalmente, al comunicar estos esfuerzos y resultados, se refuerza la imagen positiva y responsable del proyecto ante la sociedad y se promueve una cultura empresarial más consciente del medio ambiente, lo cual puede ser un diferenciador importante en el mercado actual, donde la sostenibilidad y responsabilidad ambiental son cada vez más valoradas.

Implementar medidas para aumentar la eficiencia energética en todas las etapas del proyecto, como el uso de equipos y maquinaria más eficientes, la optimización de las rutas y el transporte de materiales, y el diseño de instalaciones que minimicen el consumo de energía, es esencial no solo para reducir la huella de carbono y el impacto ambiental, sino también para disminuir costos operativos y mejorar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

**Equipos y Maquinaria Más Eficientes:** Es importante invertir en equipos y maquinaria de última generación que, a menudo, son diseñados con tecnologías más avanzadas que reducen el consumo de energía. Esto incluye, por ejemplo, motores

con mejor rendimiento, sistemas de iluminación LED y sistemas de climatización de alta eficiencia.

**Optimización de Rutas y Transporte:** Mediante el uso de software de logística y la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, es posible identificar y seleccionar las rutas más cortas o eficientes para el transporte. Asimismo, es fundamental considerar el uso de vehículos más eficientes o alternativas de transporte con bajas emisiones, como vehículos eléctricos o híbridos.

**Diseño de Instalaciones Eficientes:** La arquitectura y el diseño de las instalaciones pueden jugar un papel crucial en la eficiencia energética. Optar por diseños que aprovechen la luz natural, utilizar aislantes térmicos de alta calidad y sistemas de gestión energética integrados, y optar por equipos y sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) de alta eficiencia, son solo algunas de las medidas que pueden implementarse.

**Educación y Formación del Personal:** Es esencial que todos los involucrados en el proyecto estén informados y capacitados sobre la importancia de la eficiencia energética. A través de talleres y capacitaciones, el personal puede aprender a operar equipos de manera óptima, reconocer y reportar áreas de desperdicio energético y adoptar prácticas diarias que contribuyan al ahorro de energía.

**Monitoreo y Retroalimentación Continua:** Establecer sistemas de monitoreo que registren el consumo energético en tiempo real puede ayudar a identificar áreas de mejora y proporcionar datos valiosos para tomar decisiones informadas. Además, la retroalimentación constante permite realizar ajustes y optimizaciones de forma proactiva.

Incorporar fuentes de energía renovable en el proyecto, como la instalación de paneles solares o generadores eólicos, para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, es fundamental en el contexto actual donde la sostenibilidad y la responsabilidad medioambiental son prioridades para muchas organizaciones y comunidades.

**Paneles Solares:** La incorporación de sistemas fotovoltaicos puede proporcionar una fuente constante de energía durante las horas de luz del día. Estos sistemas son especialmente útiles en regiones con alta radiación solar. Además de la generación de electricidad, los calentadores solares pueden ser utilizados para calentar agua, reduciendo aún más el consumo de energía convencional.

**Generadores Eólicos:** En áreas con vientos consistentes, los aerogeneradores pueden ser una fuente invaluable de energía. Estos pueden variar desde grandes turbinas hasta modelos más pequeños adaptados para operaciones específicas o lugares con espacio limitado.

**Almacenamiento de Energía:** Es importante considerar sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para garantizar un suministro constante, incluso durante periodos sin sol o viento. Estas soluciones pueden almacenar energía excedente durante picos de producción para su uso durante periodos de baja generación.

**Eficiencia y Automatización:** Combinar fuentes de energía renovable con sistemas de gestión y automatización de energía puede maximizar su eficiencia. Estos sistemas pueden ajustar el consumo basándose en la disponibilidad de energía renovable y las demandas del proyecto.

**Educación y Concienciación:** Para garantizar la correcta adopción y mantenimiento de estas tecnologías, es vital ofrecer formación y sensibilización a todo el personal involucrado. Esto asegura que se maximicen los beneficios y se prolongue la vida útil de los equipos.

**Evaluación Continua:** Realizar auditorías energéticas y monitorear el rendimiento de las fuentes de energía renovable permite identificar oportunidades de mejora y garantizar que se estén alcanzando los objetivos de sostenibilidad establecidos.

**Incentivos y Financiamiento:** Aprovechar incentivos gubernamentales o programas de financiamiento para energías renovables puede ayudar a reducir los costos iniciales y mejorar el retorno de la inversión.

La implementación de medidas de carbono neutralidad en proyectos de pequeña minería en fase de exploración es esencial para promover la sostenibilidad y mitigar el impacto ambiental de esta actividad. Estas sugerencias buscan sentar las bases para una primera fase de carbono neutralidad, pero es importante destacar que la transición hacia la sostenibilidad debe ser un proceso gradual y continuo, con la participación de todos los actores involucrados.

La adopción de una estrategia de carbono neutralidad en la fase de exploración de proyectos mineros no solo es una responsabilidad ambiental sino también una oportunidad. Adoptar estas prácticas desde las etapas iniciales puede establecer un precedente positivo para futuras fases de minería y posiciona al proyecto como líder en sostenibilidad, lo cual puede traducirse en ventajas competitivas y en una mejor aceptación por parte de la comunidad y stakeholders.

## Conclusiones

La cuantificación precisa de las emisiones de GEI es esencial para determinar el impacto real de los proyectos de pequeña minería en el medio ambiente. Esto se traduce en una comprensión más clara de las contribuciones específicas de tales proyectos al cambio climático global.

En la fase de exploración, la principal fuente de emisiones podría derivarse del uso intensivo de maquinaria, desplazamiento de personal, y actividades preliminares de excavación. Una correcta cuantificación permite a las empresas tomar decisiones informadas sobre dónde y cómo implementar acciones correctivas.

Los indicadores ambientales son herramientas esenciales para monitorizar y evaluar el rendimiento e impacto ecológico de cualquier actividad minera. Algunos indicadores clave pueden incluir el consumo de agua, la gestión de residuos, la perturbación del suelo, y, por supuesto, las emisiones de GEI.

Identificar y seguir estos indicadores proporciona una imagen clara de dónde se pueden hacer mejoras, desde la adopción de tecnologías más limpias hasta prácticas operativas más eficientes. Estas oportunidades, cuando se aprovechan, pueden resultar en una reducción significativa de la Huella de Carbono, posicionando a la empresa como líder en sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Alcanzar la neutralidad en carbono es un objetivo ambicioso, pero alcanzable, especialmente si se combina la reducción de emisiones con medidas de compensación.

La reforestación y la aforestación son prácticas comunes de compensación, ya que los árboles capturan CO<sub>2</sub>, ayudando a equilibrar las emisiones producidas. Sin embargo, es crucial que estas prácticas se realicen de manera sostenible y adaptada al ecosistema local.

Otras medidas incluyen invertir en proyectos de energías limpias, como parques eólicos o solares, y apoyar iniciativas de conservación de ecosistemas naturales, que juegan un papel vital en la captura y almacenamiento de carbono.

Es fundamental que las medidas de compensación no sean simplemente "compras de indulgencia", sino acciones genuinas y sostenibles que resulten en un beneficio tangible y a largo plazo para el medio ambiente.

## Conclusiones

A medida que evoluciona la tecnología, hay más herramientas y maquinarias que operan con mayor eficiencia energética. Evalúe y actualice regularmente el equipo utilizado en el proyecto para reducir emisiones. Adicionalmente, la integración de sistemas digitales y software avanzado permite una mejor monitorización y gestión del consumo energético en tiempo real. Los sensores y dispositivos IoT (Internet de las Cosas) pueden proporcionar datos detallados sobre el rendimiento de la maquinaria, permitiendo ajustes proactivos y mantenimiento predictivo, lo que no solo reduce el consumo de energía sino también los costos operativos.

La adopción de energías renovables en la operación de estas máquinas, como la electricidad generada a partir de fuentes solares o eólicas, puede disminuir aún más la dependencia de los combustibles fósiles. Es fundamental considerar la viabilidad y el retorno de la inversión al incorporar estos sistemas, pero a largo plazo, las ventajas en términos de reducción de emisiones y ahorro económico suelen ser evidentes.

Además, es esencial fomentar una cultura de eficiencia energética entre el personal. La capacitación y la sensibilización sobre la importancia de operar maquinaria de manera eficiente y apagar equipos que no estén en uso pueden hacer una diferencia significativa. Al considerar adquisiciones o renovaciones, priorice las opciones que cuenten con certificaciones o reconocimientos relacionados con la eficiencia energética. Estos sellos suelen indicar que el equipo cumple con estándares internacionales y ha sido diseñado con la sostenibilidad en mente.

Optimice el consumo de agua y energía en todas las operaciones. Considere la implementación de sistemas de monitoreo que proporcionen datos en tiempo real

sobre el consumo de recursos. Asegure que el personal esté bien informado y capacitado sobre las mejores prácticas en la reducción de emisiones y sostenibilidad. Una fuerza laboral educada es esencial para la implementación efectiva de prácticas sostenibles.

Realice auditorías y revisiones periódicas de las operaciones para identificar áreas de mejora. Utilice los indicadores ambientales como guía para estas evaluaciones. Si es viable, incorpore vehículos eléctricos o híbridos para el transporte interno y las operaciones relacionadas con el proyecto. Además, optimice las rutas de transporte para minimizar la distancia y el tiempo de viaje.

Se debe considerar la posibilidad de instalar fuentes de energía renovable, como paneles solares o turbinas eólicas, en el sitio del proyecto. Estas fuentes pueden proporcionar una parte significativa de la energía necesaria para las operaciones. Establezca metas claras y medibles en relación con la reducción de la huella de carbono y la neutralidad de carbono. Comunique estos objetivos a todas las partes interesadas y proporcione actualizaciones regulares sobre el progreso.

## Bibliografía

Afonso, A., Montero, J., & Watson, R. (2019). Indicadores de sostenibilidad para la industria minera extractiva en Uige, Angola. *Minería y Geología*, 35(2), 233-251.

Álamo, R., & Cortés, O. (2023). *Propuesta para reducir el impacto ambiental en el proceso de elaboración de bebidas en una cafetería*.  
<http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/31514>

Alarcón, P., Naranjo, F., & Castelo. (2021). *La influencia de variables demográficas en el Liderazgo organizacional en organizaciones del Ecuador | MUNDO RECURSIVO*.  
<https://www.atlantic.edu.ec/ojs/index.php/mundor/article/view/106>

Alcázar, V., & Sierra, Z. (2021). *Propuesta para lineamientos de acción para promover la economía circular en el distrito de Surco*.  
<https://repositorio.esan.edu.pe///handle/20.500.12640/2144>

Alfaro, S., & Herrera, J. (2023). *Informe de los resultados del inventario de emisiones GEI y la carbono neutralidad*. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/25280>

Alvear, A. (2018). Aplicación de una torre empacada como purificador de gases de chimenea en la industria minera de El Oro, cantón Ponce Enríquez, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 5(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.26423/rctu.v5i2.345>

Andrade, C., & Ruperti, L. (2019). Una mirada. Republica de Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 2(3), 55-66.

- Andrade, E. (2021). *Diseño de un modelo de transporte entre los centros de acopio y de suministro en la provincia del Guayas utilizando el modelo SCOR*. [Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56580>
- André, F., & Valenciano, J. (2022). Voluntary carbon neutral programs. Adoption and firms' strategies. *Journal of Cleaner Production*, 381, 135191. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135191>
- Araujo, L., & Cuello, Y. (2018). Uso de herramientas prospectivas en la industria minera: Revisión bibliográfica. *Revista Agunkuyâa*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.33132/27114260.1240>
- Arteaga, L., & Burbano, J. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>
- Astorga, E., & Valdés, Z. (2021). Desarrollo sostenible y recursos naturales no renovables. Aspectos conceptuales. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 9(3), Article 3. <https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/3995>
- Ávila, A., & Fresneda, K. N. (2023). *Diseño de una propuesta para la transaccionalidad hacia la economía circular en los sectores industrial y agropecuario, en la jurisdicción CAR Cundinamarca*. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/10742>
- Barra, A., Bocanegra, S., & Mayo Salinas, J. A. (2020). *Los efectos económicos sobre el turismo receptivo, la exportación de hidrocarburos y de la industria minera a causa del Covid-19 en el Perú*.

<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/77c64160-fd22-4430-b978-6faf8d082d80>

Barría, C., Searle, J., Santander, A., García, M. J., Guzmán, R., & Mancilla, C. (2020). Carbono Neutralidad en el sector Energía. *Subsecretaría de Energía*. <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3822>

Barzola, H. (2020). Optimización del diseño de paneles solares fotovoltaicos aplicando grafeno. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10387>

Benites, J. (2019). *Determinación de la huella de carbono de una unidad minera de oro a tajo abierto*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4041>

Botero, L. (2021). *Principios, herramientas e implementación de Lean Construction*. Universidad EAFIT.

Caamaño, J. (2021). La huella ambiental y el CLT en el sector de la construcción frente al cambio climático. *De Plano*, 45, 4-6.

Cancino, D. (2022). *Escenarios de carbono neutralidad para Chile*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189406>

Carrasco, A. (2019). Reconfiguración metabólica y acumulación por desposesión: la industria minera del cobre y el caso de la minera los pelambres en la cuenca del río Choapa. *Diálogo andino*, 58, 129-138. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812019000100129>

- Castillo, C., Cruz, J., Palacios, I., & Reyes, O. (2023). *Importancia del liderazgo en trabajos híbridos y su alcance en el cumplimiento de los objetivos en las organizaciones*. <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/31830>
- Cedeño, O., & Mendoza, Á. (2020). Impacto del índice riesgo país en la inversión extranjera directa de Ecuador periodo 2016-2018. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 5(3), 619-639.
- Chalar, L. (2023). *Entramado productivo intersectorial local entre turismo y horticultura*. I Jornada Turismo, Comunidades y Ruralidad (La Plata, 5 al 7 de mayo de 2021). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/151940>
- Cipagauta, M. (2022). *Complementariedad en isla con integración de energías renovables para la capacidad del servicio energético* [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83533>
- Correa, F. (2023). *Economía, ecología y democracia: Hacia un nuevo modelo de desarrollo*. Editorial Catalonia.
- Cosme, A., & Zapata, C. (2023). Influencia de la responsabilidad social empresarial en la reputación corporativa y la competitividad de las empresas peruanas de la región de Lima Metropolitana. *Repositorio Institucional - Ulima*. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/18413>
- Cury, I. (2020). *Análisis comparativo entre un estudio de caso de impactos pesca deportiva y el listado de impactos ambientales específico en el marco de licenciamiento ambiental colombiano*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37983>

- Daza, D. (2023). *Revisión documental enfocada a la caracterización de zonas vulnerables por contaminación de suelos en Colombia*.  
<http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/25638>
- Donoso, I. (2020, julio). *Diseño, optimización y simulación energética de una planta de almacenamiento de energía basada en la licuación de aire. Estudio teórico y análisis de costes* [Info:eu-repo/semantics/BachelorThesis]. E.T.S.I. Diseño Industrial (UPM). <https://oa.upm.es/63495/>
- Dufey, A. (2020). *Iniciativas para transparentar los aspectos ambientales y sociales en las cadenas de abastecimiento de la minería: Tendencias internacionales y desafíos para los países andinos*.  
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45604>
- Fairlie, A. (2022). Nuevos retos para el Acuerdo Comercial Multipartes de la Unión Europea con Perú, Colombia y Ecuador. *Documentos de trabajo (Fundación Carolina): Segunda época, Extra 2, 1*.
- Fuentes, D., Núñez, A., & Vela, N. (2023). Diseño de una ruta de conversión de residuos lignocelulósicos para la producción de butano como sustituto del gas licuado de petróleo. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.18272/aci.v15i1.2884>
- Galindo, L., Reyes, P., & González, F. (2022). Escenarios para la transición energética a una economía carbono neutral en América Latina y el Caribe: Algunos hechos estilizados. *Sobre México. Temas de Economía (ISSN: 2448-7325)*, Num. 6, Año 3, Julio - diciembre (2022), pp. 1-35. <https://ri.iberro.mx/handle/iberro/6360>

- García, A. (2021). Responsabilidad social empresarial en el sector minero de cara a la transición energética en Colombia. *instname: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*. <https://doi.org/10/22284>
- Gaudiano, E., & Cartea, P. (2020). Educación para el cambio climático: ¿educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168), Article 168. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>
- González, E., & Meira, P. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>
- Guo, X., Chen, X., Chen, X., Sherman, P., Wen, J., & McElroy, M. (2023). Grid integration feasibility and investment planning of offshore wind power under carbon-neutral transition in China. *Nature Communications*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37536-3>
- Hernández, S. (2023). *Modelo de transferencia tecnológica a partir de la caracterización de las capacidades tecnológicas de los actores de la cadena productiva del fique en Antioquia* [MasterThesis, Escuela de Ingeniería]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/10953>
- Horta, C., & García, M. (2023). *La industria minera en Latinoamérica | ÁNFORA*. <https://publicaciones.autonoma.edu.co/index.php/anfora/article/view/795>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Home – Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

- Jones, S., Smith, A., Leach, N., Henrys, P., Atkinson, P., & Harrison, P. A. (2023). Pathways to achieving nature-positive and carbon-neutral land use and food systems in Wales. *Regional Environmental Change*, 23(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02041-2>
- Julca, D. (2022). *La economía circular en la minería peruana*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47895>
- Lin, J., Nie, J., & Wang, T. (2023). Towards carbon-neutral sustainable development of China. *Environmental Research Letters*, 18(6), 060201. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd12e>
- Lobo, L. (2021). *Marco base de la política pública de economía circular enfocado en una perspectiva de gestión y manejo de residuos sólidos para la ciudad de Medellín*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/21782>
- Loyola, E. (2019). *Evaluación de escenarios de mitigación del cambio climático en Chile con respecto al objetivo establecido en el acuerdo de París*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174965>
- Machuca, Y. (2023). *La Huella de Carbono como indicador ambiental durante la postcosecha de peras agroecológicas en el Alto Valle del río Negro (Argentina)*. <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17274>
- Mansilla, K., Guiñez, N., & Jeldes, F. (2022). Cuando la comunidad es invisible: Responsabilidad social empresarial en la industria minera. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 31, 77-94. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.31.2022.5082>

- Maroto, J. (2021). *Evaluación de la huella de carbono organizacional en empresas participantes del Programa País de Carbono Neutralidad 2.0*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13235>
- Marrero, D., Salcedo, M., Crespo, C., & Téllez, J. (2019). La universidad y la educación para el cambio climático. *Humanidades Médicas*, 19(3), 427-443.
- Mejía, H. (2019). *Caracterización del madreado utilizado en la carbono-neutralidad*.  
<http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/9192>
- Mezares, A. (2022). Sistema de concreto lanzado vía húmeda empleando robot Alpha 20 en el sostenimiento de labores mineras subterráneas. Unidad económica Animón—Pasco. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.  
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3204>
- Milena, S., Córdova, J., & Astrid Gómez Botero, M. (2021). Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción. *Revista EIA*, 18(36), 5-5.
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Acuerdos. MAAE-2021-018 Expídese el Programa Ecuador Carbono Cero*. vLex. <https://vlex.ec/vid/maae-2021-018-expidese-874534796>
- Montoya, A., Sieder, R., & Bravo, Y. (2022). Juridificación multiescalar frente a la industria minera: Experiencias de Centroamérica y México. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 72, 57-78. <https://doi.org/10.17141/iconos.72.2022.5038>
- Murga, M. (2020). El camino hacia los ODS. *Comillas Journal of International Relations*, 19, 1-11. <https://doi.org/10.14422/CIR.119.Y2020.001>

- Musso, J., & Suazo, G. (2019). Determinación de la curva de retención de agua para relaves multitemáticos de la industria minera de Chile. *Obras y proyectos*, 25, 22-29. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132019000100022>
- Naranjo, L., & Willaarts, B. (2020). *Guía metodológica: Diseño de acciones con enfoque del Nexo entre agua, energía y alimentación para países de América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46078>
- Olcina, J. (2020). Clima, cambio y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 66(1), Article 1.
- Ortega, W., Narváez, I., Ormaza, J., & Erazo, J. (2020). Sistema de costeo basado en actividades ABC/ABM para la industria minería; caso Promine Cía. Ltda. *Dominio de las Ciencias*, 6(Extra-1), 369-395.
- Pardo, V. (2023). *Análisis comparativo del ciclo de vida—Huella de carbono de una edificación de hormigón armado frente a una edificación de estructura metálica*. [Bachelor Thesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30699>
- Paredes, J. (2023). Evaluación de los principales potenciales almacenes geológicos para el secuestro de CO<sub>2</sub> en el Perú. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19418>
- Patiño, J. (2021). *La cuarta revolución industrial*. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/4032>

- Pavez, D. (2022). *Comparación de la Huella de Carbono del proceso actual de votación en Chile de las elecciones presidenciales con una implementación de voto electrónico*. <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvsc/10886>
- Poma, A. (2018). El papel de las emociones en la respuesta al cambio climático. *Interdisciplina*, 6(15), 191-214. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2018.15.63843>
- Poveda, R. (2022). *La gobernanza de las empresas estatales en la industria minera de los países andinos*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47880>
- Poza, A. (2021). *Estudio de viabilidad sobre la implementación de máquinas de Reverse Vending para incentivar el reciclaje*. <https://idus.us.es/handle/11441/114914>
- Ramírez, M., & Chavarría, A. (2019). Análisis sobre carbono neutralidad y dificultades técnicas para la implementación de una clínica dental ecológica. *Odontología Vital*, 30, 73-78.
- Reynoso, F. (2022). *Desafío de management en la utilización de residuo agrícola de cosecha como fuente de bioenergía en ingenios azucareros* [MasterThesis]. <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/25624>
- Rinaldi, Á. (2023). *La sostenibilidad ambiental en la gestión de proyectos de construcción*. <https://doi.org/10.57799/11227/11949>
- Roca, B., Beltrán, M., & Gómez, R. (2019). Cambio climático y salud. *Revista Clínica Española*, 219(5), 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.01.004>

- Rodríguez, A. (2023). Transición energética en el contexto nacional e internacional y retos de optimización para la ANDI. *instname: Universidad Antonio Nariño*.  
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8195>
- Rodríguez, S. (2021). *Almacenamiento en autoconsumos eléctricos. Estudio de mercado de las tecnologías para baterías de almacenamiento eléctrico. Proyecto de energía renovable y almacenamiento de energía para ahorro de consumos en los consumos de electricidad en un centro de enseñanza*.  
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/55102>
- Romero, R., Toapanta, S., Rivera, M. J., Caucha, L., Baño, M., Maciel, M., & Orizaga, J. A. (2022). Sistema generalizado de preferencias con Estados Unidos y su incidencia en las exportaciones ecuatorianas. *CONNECTIVIDAD*, 3(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.37431/conectividad.v3i1.29>
- Romero, V., & Franco, R. (2023). *Propuesta de un plan de gestión de seguridad para el manejo de desechos contaminantes de la planta procesadora de minerales auríferos “Hermanos Franco”* [BachelorThesis].  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24849>
- Rosa, M., Hernández, P., & Vega, M. (2020). La industria minera y su enfoque de sostenibilidad en Méjico. *Teuken Bidikay: Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad*, 11(16), 175-200.
- Sanipatín, J., & Realpe, L. (2023). *Desafíos para la sostenibilidad en el siglo XXI: Ambiente, virtualización, derechos, educación y empresa*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

- Socola, E. (2023). Responsabilidad social, implicancia en la gestión administrativa, Municipalidad Distrital de Corrales, Región Tumbes, 2023. *Universidad Nacional de Tumbes*.  
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64202>
- Sotomayor, A. (2020). Ambiente, sociedad y turismo comunitario: La etnia Saraguro en Loja – Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(2).  
<https://doi.org/10.31876/racs.v26i2.32433>
- Titan Minerals Ltd. (2022). *BNamericas—Titan Minerals Ltd. (Titan Minerals)* [2022]. BNamericas.com. <https://www.bnamericas.com/es/perfil-empresa/titan-minerals-limited-titan-minerals>
- Vaca, A., & Orellana, I. (2020). Análisis de riesgo financiero en el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos del Ecuador. *Revista Economía y Política*, 32, 133-165. <https://doi.org/10.25097/rep.n32.2020.05>
- Valenciano, J., André, F., & Rivero, C. (2023). Media Coverage of Carbon Neutral Organizations in Costa Rica: Environmental Sustainability Practices and Consumer Recognition. *Innovar: Revista de ciencias administrativas y sociales*, 33(88), 19-36.
- Vargas, L. (2021). *Agentes de la deforestación y su impacto socioeconómico y ambiental en la comunidad nativa Santa Rosa de la Cuenca del Río Aguaytía del Padre Abad* 2019.  
<http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/7040>