

# Informe final

## Análisis de los impactos sobre el cambio climático de la minería artesanal y en pequeña escala de oro

### Impactos en 2021

*Medellín, 02 de noviembre de 2022*



#### Aviso legal:

Este informe es únicamente para el uso de SBG. Ninguna parte de este puede circular, ser citado o reproducido para distribución a terceros sin el consentimiento previo por escrito de South Pole Carbon Asset Management Ltd.

## Detalles

### Preparado para:

Thomas Hentschel, Managing Director / Global Program Manager SBGI  
**Projekt-Consult**  
Eulenkrogstrasse 82, D-22359 Hamburg · Germany  
+49 40 603 06 740 · thomas.hentschel@projekt-consult.de · projekt-consult.de

Diana Culillas, Secretary General  
**Swiss Better Gold Association**  
8B, Chemin des Couleuvres 1295 · Tannay · Switzerland  
+41 22 960 71 62 · diana.culillas@sbga.ch · swissbettergoldassociation.ch

---

### Preparado por:

**South Pole Carbon Asset Management Ltd. (South Pole)**  
Technoparkstrasse 1 · 8005 Zürich · Suiza  
southpole.com

---

### Autor principal:

Diana Swidler, Manager, Contabilidad de Impactos Ambientales  
+31 020 299 1718  
d.swidler@southpole.com

### Revisor técnico:

Leonardo Verkooijen, Líder, Contabilidad de Impactos Ambientales  
+31 020 299 1718  
l.verkooijen@southpole.com

---

### Persona de contacto:

Leonardo Verkooijen, Líder, Contabilidad de Impactos Ambientales  
+31 020 299 1718 · l.verkooijen@southpole.com

---

## Tabla de contenido

Detalles	2
Executive summary	9
La minería artesanal y en pequeña escala	10
Estudios ambientales de la MAPE	11
El cambio climático y la MAPE	12
Información sobre el proyecto	12
2. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en el ciclo de vida de la MAPE	13
Objetivo del estudio	13
Alcance del estudio	13
Generalidades .....	13
Función, unidad funcional y flujo de referencia.....	14
Enfoque de modelamiento de inventario .....	14
Límites del sistema .....	15
Supuestos y exclusiones sobre etapas y procesos .....	18
Representatividad de los datos de inventario .....	18
Bases para la evaluación de impactos .....	19
Recolección de información .....	20
Limitaciones del estudio.....	20
Bases para el análisis de incertidumbre y sensibilidad .....	20
3. Análisis de la huella de carbono en la mina PE-002	22
Descripción general de la mina	22
Análisis de inventario del ciclo de vida	23
Diagrama general del proceso .....	23
Descripción de las etapas del ciclo de vida .....	24
Datos de inventario del ciclo de vida .....	26
Evaluación del impacto del ciclo de vida	30

Presentación de resultados.....	30
Interpretación de resultados.....	32
4. Análisis de la huella de carbono en la mina CO-007	33
Descripción general de la mina	33
Análisis del inventario del ciclo de vida	34
Diagrama general del proceso .....	34
Descripción de las etapas del ciclo de vida .....	34
Datos de inventario del ciclo de vida .....	37
Evaluación del impacto del ciclo de vida	41
Presentación de resultados.....	41
Interpretación de resultados.....	43
5. Análisis de la huella de carbono en la mina CO-011	44
Descripción general de la mina	44
Análisis del inventario del ciclo de vida	45
Diagrama general del proceso .....	45
Descripción de las etapas del ciclo de vida .....	46
Datos de inventario del ciclo de vida .....	49
Evaluación del impacto del ciclo de vida	51
Presentación de resultados.....	51
Interpretación de los resultados .....	53
6. Análisis de la huella de carbono en la mina PE-006	55
Descripción general de la mina	55
Análisis del inventario del ciclo de vida	56
Diagrama general del proceso .....	56
Descripción de las etapas del ciclo de vida .....	57
Datos de inventario del ciclo de vida .....	60
Evaluación del impacto del ciclo de vida	61
Presentación de resultados.....	61
Interpretación de resultados	62
7. Análisis de la huella de carbono en la mina CO-002	63

Descripción general de la mina	63
Análisis de inventario del ciclo de vida	64
Diagrama general del proceso .....	64
Descripción de las etapas del ciclo de vida .....	65
Datos de inventario del ciclo de vida .....	67
Evaluación del impacto del ciclo de vida	69
Presentación de resultados.....	69
Interpretación de los resultados .....	71
Análisis de sensibilidad	71
Comparación de la huella total por kg de oro .....	73
8. Conclusiones y recomendaciones	78
9. Marco de actuación para evaluar el impacto sobre el cambio climático.	82
Bibliografía	85
Anexo I	89
Tablas de suposiciones	89
PE-002	89
CO-007	90
CO-011	93
PE-006	96
CO-002	96
Anexo II	1

## Lista de tablas

Tabla 1: Summary of mine characteristics and total emissions per mine	
Tabla 2: Nombre, ubicación y características generales de las minas consideradas para el ACV	13
Tabla 3: Composición del doré para cada uno de los sistemas considerados	15

Tabla 4: Nombre, ubicación y características generales de la mina PE-002	20
Tabla 5: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina PE-002	24
Tabla 6: Tabla comparativa de emisiones incluyendo la categorización por Alcances según el Protocolo GHG, mina PE-002	29
Tabla 7: Nombre, ubicación y características generales de la mina CO-007	29
Tabla 8: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina CO-007	33
Tabla 9: Tabla comparativa de emisiones, mina CO-007	36
Tabla 10: Nombre, ubicación y características generales de la mina CO-011	37
Tabla 11: Datos inventario del ciclo de vida para la mina CO-011	42
Tabla 12: Tabla comparativa de emisiones, la mina CO-011	47
Tabla 13: Nombre, ubicación y características generales de la mina CO-011	46
Tabla 14: Datos inventario del ciclo de vida para la mina PE-006	50
Tabla 15: Tabla comparativa de emisiones, la mina PE-006	51
Tabla 16: Nombre, ubicación y características generales de la mina para la mina CO-002	52
Tabla 17: Datos inventario del ciclo de vida para la mina CO-002	57
Tabla 18: Tabla comparativa de emisiones, mina CO-002	58
Tabla 19: Porcentajes de reducción de emisiones CEL-I vs EC	
Tabla 20: Resumen de emisiones por mina	
Tabla 21: Alcances 1, 2 y 3 de emisiones GEI incluidas en el reporte de World Gold Council (2018 y 2019)	
Tabla 22: Tabla comparativa de alcances entre minas y según los resultados obtenidos por el World Gold Council (junio 2018 y octubre 2019)	
Tabla 23: Posibles medidas de reducción según la mina	

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Etapas genéricas de ciclo de vida de los sistemas considerados	14
---	----

Ilustración 2: Etapas genéricas de ciclo de vida de la mina PE-002	21
Ilustración 3: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina PE-002	22
Ilustración 4: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina PE-002	23
Ilustración 5: Porcentaje de emisiones por categoría en extracción, mina PE-002	27
Ilustración 6: Porcentaje de emisiones por categoría en procesamiento, mina PE-002	27
Ilustración 7: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina CO-007	30
Ilustración 8: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina CO-007	32
Ilustración 9: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina CO-007	31
Ilustración 10: Porcentaje de emisiones por categoría en extracción, mina CO-007	35
Ilustración 11: Porcentaje de emisiones por categoría en procesamiento, mina CO-007	36
Ilustración 12: Diagrama general del proceso	38
Ilustración 13: Descripción de etapas de extracción	39
Ilustración 14: Descripción de etapas de procesamiento	40
Ilustración 15: Porcentaje de emisiones por categoría en extracción, mina CO-011	43
Ilustración 16: Porcentaje de emisiones por categoría en procesamiento, mina CO-011	44
Ilustración 17: Diagrama general de proceso, mina PE-006	47
Ilustración 18: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina PE-006	47
Ilustración 19: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina PE-006	48
Ilustración 20: Porcentaje de emisiones por categoría, mina PE-006	51
Ilustración 21: Diagrama general del proceso, mina CO-002	53
Ilustración 22: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina CO-002	54
Ilustración 23: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina CO-002	55
Ilustración 24: Porcentaje de emisiones por categoría, mina CO-002	58
Ilustración 25: Comparativa de escenarios EC y CEL-I	60
Ilustración 26: Distribución de emisiones según alcances. Estándar de Contabilidad de Ciclo de Vida de un producto	63

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
ACV	Análisis de ciclo de vida
ASGM	Artisanal and Small Scale Gold Mining (Minería de Oro Artesanal y de Pequeña Escala)
CEL	Certificado de Energía Limpia
CH <sub>4</sub>	Metano
CIP	Carbón en pulpa
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2e</sub>	Dióxido de carbono equivalente
COP	Peso colombiano
EC	Electricidad convencional
GEI	Gases de efecto invernadero
GVW	Gross Vehicle Weigh (Peso bruto vehicular)
GWP	Global Warming Potential (Potencial de calentamiento global)
HA	Hectárea
HCP	Huella de carbono de producto
HFC	Hidrofluorocarburos
ICP	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente)
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Normalización)
ITA	Interrupción de transferencia automática
KG	Kilogramo
LED	Light-emitting diode (diodo emisor de luz)
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MAPE	Minería artesanal y en pequeña escala
MWh	Megavatio por hora
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NPK	Nitrógeno, fósforo y potasio
PLN	Perusahaan Listrik Negara
SBGA	Swiss Better Gold Association (Asociación Suiza de Oro Responsable)
SBGI	Swiss Better Gold Initiative (Iniciativa Suiza de Oro Responsable)
SECO	Secretaría de Estado para Asuntos Económicos
T	Tonelada
WGC	World Gold Council (Consejo Mundial del Oro)
WRI	World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible)

### Executive summary

Artisanal and Small Scale Gold Mining (ASGM) is an activity of great importance for the global economy since it represents 20% of the total gold supply (IISD, 2018). Yet, there is a sector with little information available, especially in climate terms, since its formalization process is slow-paced. In a time when climate adaptation and mitigation is an important factor to consider in the survival of any sector of the economy, the Swiss Better Gold Initiative (SBGI) has facilitated this study, aligned with its mission of improving the environmental and social conditions of the supply chain of gold and supporting its sustainable development.

This study's objective is to better understand the ASGM (Artisanal and Small-Scale Gold Mining) sector's interrelationship with three fundamental components of any climate decision: climate, biodiversity, and water. For this purpose, site visits were conducted in five ASGM mines located in Colombia and Peru for data collection and a better understanding of the environmental impacts of each region. In addition, a combination of different impact assessment methodologies and state-of-the-art tools were used to analyze the mining operations of these five ASGM mines.

This first part of the report is focused on the climate impact component. The selected methodology was the Product Carbon Footprint (PCF), following the ISO 14067 guidelines and the GHG Protocol Product Life Cycle Accounting. The PCF methodology was selected to develop a GHG inventory that contributes to the elaboration of Life Cycle Assessments, following the ISO 14040/14047, that can yield results in biodiversity and water impacts. In addition, the GHG Protocol Product Life Cycle Accounting was also selected to enable comparisons with results published by the mining gold industry, which are aligned with the renowned GHG emissions reporting and disclosure framework.

Therefore, this study aims at helping understand the carbon emissions of 1 kg of gold, of 99% purity, but also dives into the reasons behind the different results obtained across the mines. The emissions inventory and analysis include the following elements:

- The main GHG emissions sources in the stages of gold extraction, processing, and transportation of raw materials, per mine.
- The transport stage of the final product from the mine to refining, in terms of distances and transportation modes.
- Impact of the refinement stage in Switzerland using data extrapolated from a refinery.
- The carbon footprint of the final product (99% pure gold).

Table 1 summarizes the characteristics and total emissions per mine. The total emissions per 1 kg of pure gold are highly variable, depending on a set of factors. These factors include the type of mine (open pit or underground), how the gold is presented in nature (alluvial or gold vein), the gold concentration and purity, the geographical location, and the type of technology used during production. The total emission results vary from 5.335 to 91.214 kgCO<sub>2</sub>e/kg pure gold. Three mines reported less emissions than the World Gold Council in its reports, while the two open pit alluvial mines included in this study accounted for more emissions, due to their intensive use of fuels.

Table 1: Summary of mine characteristics and total emissions per mine

Name	Location	Type of mine	Ore grade (g/ton)	Finished product composition	Finished product in kg (2021)	Total (kgCO <sub>2</sub> e/kg pure gold)
PE-002	Perú	Underground Gold veins. Small semi-industrialized mine	14,24 g/ton	48,9% gold, 41,2% silver and 9,9% others	1.097	5.355
PE-006	Perú	Open pit Alluvial. Small located at high elevation	0,14 g/ton	97% gold, 3% others	40	91.217
CO-007	Colombia	Open pit. Gold veins. Medium scale mine	4,5 g/ton	99,3% gold 0,7% others	188	30.398
CO-002	Colombia	Open pit Alluvial. Small mine locate in lowland	0,106 g/ton	97%	48	62.455
CO-011	Colombia	Underground Gold veins. Small low mechanized mine	6-7 g/ton	88,4% gold, 11,6% silver	15	15.129

(Source: South Pole, 2022)

The study also examines potential opportunities for improvement and identifies measures to reduce GHG emissions associated with the ASGM operations, depending on the hot spots for emissions found in each of the mines. Renewable energy certificates (RECs) are highlighted as the best alternative for three of the five mines, with a potential to reduce emissions between 14% and 29% of the total emissions incurred in electricity use. In general, the five mines would see their emissions considerably reduced by deploying solar & wind projects and using biofuels and hydrogen. A further study focused on analyzing these reduction measures will open the opportunity to further lower emissions and ensure the development of more environmentally responsible gold mining.

### La minería artesanal y en pequeña escala

La minería artesanal y en pequeña escala (MAPE, o ASM por sus siglas en inglés), carece de una definición específica. Sin embargo, varios autores (IIED; WBCSD, 2002; Chaparro A., 2003; Pact, 2022) explican que se trata de la extracción y procesamiento de minerales y/o metales de manera manual o con herramientas y métodos simples. La MAPE tiene presencia en todos los

continentes, pero prevalece más en países en desarrollo como lo son Nigeria, Zimbabue, Uganda, Indonesia, Afganistán, Marruecos, Brasil, Colombia o Perú, por mencionar algunos (DELVE, 2020).

Es importante destacar que la MAPE desarrolla una actividad de suma importancia, pues los materiales extraídos son esenciales para la economía mundial (DELVE, 2020) y el desarrollo tecnológico, el cual utiliza una porción considerable de los metales extraídos por este tipo de minería (Pact, 2022). De hecho, de acuerdo con el Foro Intergubernamental (IGF, 2018), la MAPE produce alrededor del 15 % y 20 % de los minerales a nivel mundial. En el caso del oro, la MAPE aporta el 20 % del suministro de este metal a nivel mundial (DELVE, 2020).

Colombia y Perú tienen una larga tradición histórica de minería artesanal (León P., 2020; Veiga & Marshall, 2019; DELVE, 2020) y en las últimas décadas esta actividad ha aumentado debido a los altos niveles de pobreza y la creciente demanda de oro (León P., 2020). Hoy en día, trescientas mil personas en Colombia trabajan en la MAPE, mientras que en Perú son setenta mil las personas desempeñando esta actividad (DELVE, 2020). Uno de los metales más importantes en la minería de ambos países es el oro. El 87 % producido en Colombia viene de la MAPE (Veiga & Marshall, 2019), mientras que, en el caso de Perú, entre el 10 % y el 15 % de la producción nacional de este metal proviene de mineros artesanales (Reuters, 2022).

### Estudios ambientales de la MAPE

Respecto a los impactos ambientales de la MAPE, estos varían significativamente según los métodos de extracción, los cuales se pueden categorizar en tres grandes grupos de la MAPE: minería aluvial superficial (hasta 3 metros de profundidad), minería aluvial en profundidad (entre 7 y 12 metros de extensión) y minería en roca sólida o primaria (Machácek, 2019 citado por Rubiano *et al.*, 2020). Aunque la extensión y magnitud de los impactos ambientales de la MAPE van a depender del método de extracción, es posible referir de forma general los tipos de impactos generados.

En primer lugar, las actividades de la MAPE generan cambios en la estructura del paisaje debido a la configuración de asentamientos mineros, que implican impactos de deforestación primaria y secundaria (Machácek, 2019, citado por Rubiano *et al.*, 2020). Por otra parte, en algunos casos, el uso de sustancias químicas como el mercurio y el cianuro, y la ausencia de una correcta gestión de los efluentes, genera contaminación de las fuentes hídricas y la alteración de la cadena trófica por acumulación de mercurio (Hilson, 2002, citado por Rubiano *et al.*, 2020).

Los estudios de impactos ambientales de la MAPE de oro en Colombia y Perú se han centrado en los impactos locales. En Colombia, por ejemplo, algunos de los impactos ambientales reportados son la disposición de relaves sin tratamiento a cuerpos de agua y la dispersión de cianuro y mercurio, este último en diversas formas como vapor de mercurio o metilmercurio, que puede ser bioacumulado en los seres vivos (MINMINAS; UPME; U. de Córdoba, 2015). Asimismo, otros impactos ambientales observados en dicho país han sido el deterioro de las corrientes hídricas, la alteración de los cauces de ríos, la contaminación de los suelos, las afectaciones a la pesca y el desplazamiento y desaparición de fauna (MINMINAS; UPME; U. de Córdoba, 2015). Por su parte, en Perú, se ha demostrado el vínculo entre el aumento de las tasas de deforestación en determinadas zonas y la expansión de actividades de minería aurífera (Kahhat, 2019). Sin embargo, no existen estudios cuantitativos acerca de la relación entre la MAPE y el cambio climático.

### El cambio climático y la MAPE

El cambio climático ha ganado importancia como tema de prioridad a nivel mundial. El incremento en la intensidad de extremos climáticos ha generado impactos negativos; algunos ejemplos son el incremento en la mortalidad humana por altas temperaturas, el incremento en áreas de incendios forestales, la reducción e incremento de precipitación anual en diferentes regiones, la acidificación del océano, la migración de especies hacia zonas más frías o elevadas, entre otros (IPCC, 2022). Todos estos impactos están directamente relacionados con los impactos en los sistemas humanos; algunos ejemplos son la reducción en el rendimiento agrícola, provocando inseguridad alimentaria, daños a la infraestructura por inundaciones e incendios con importantes impactos económicos, migración de poblaciones vulnerables a nivel global, así como sequías y proliferación de enfermedades (IPCC, 2022).

La acción más importante que se ha tomado para enfrentar el cambio climático se llevó a cabo en el 2015, cuando se firmó el acuerdo de París, en el que 196 países se comprometieron a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C respecto a los niveles preindustriales (IPCC, 2022), requiriendo una reducción de GEI en todas las cadenas productivas a nivel mundial.

A pesar de que la MAPE produce entre un 15 % y un 20 % de los minerales a nivel mundial, las emisiones generadas por la MAPE no han sido suficientemente estudiadas; se desconoce su aportación cuantitativa de GEI y las áreas de mejora para reducir emisiones. Este proyecto busca mejorar el entendimiento de la relación entre la MAPE y el cambio climático a través del análisis de ciclo de vida (ACV, o LCA por sus siglas en inglés) de cinco (5) minas de oro en Colombia y Perú.

### Información sobre el proyecto

La Iniciativa Suiza de Oro Responsable (SBGI, Swiss Better Gold Initiative) surgió en el año 2013 como una alianza público-privada entre la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos (SECO, por sus siglas en inglés) del gobierno de Suiza, y representantes clave de la asociación del oro en Suiza, con el fin de contribuir a mejorar las condiciones ambientales, sociales y laborales en las actividades de minería artesanal y en pequeña escala (MAPE) de oro. Al asegurar trazabilidad de toda la cadena de valor del oro, la SBGI busca promover el desarrollo sostenible a escala local en las comunidades en las que se realiza MAPE de oro, así como generar valor para el desarrollo regional y nacional.

La SBGI busca apoyar una transición hacia la resiliencia climática. Al no haber una base conceptual sólida sobre los impactos de la MAPE de oro en el cambio climático, la SBGI manifestó gran interés en estudiar el tema y se identificó el ACV como la herramienta más apropiada para este fin. Este análisis se aplicará en cinco minas: dos localizadas en Perú (mina PE-002 y mina PE-006) y tres localizadas en Colombia (mina CO-007, mina CO-011 y mina CO-002). Los impactos ambientales seleccionados para el ACV se enmarcan en tres temáticas: cambio climático, gestión del recurso hídrico y biodiversidad. Los resultados permitirán a la SBGI formular e implementar intervenciones orientadas a reducir la huella de carbono, biodiversidad y agua en las diferentes minas evaluadas. El presente documento se centra en los impactos que tienen como consecuencia la aceleración del cambio climático.

## 2. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en el ciclo de vida de la MAPE

### Objetivo del estudio

El objetivo de este estudio consiste en realizar la medición de GEI a partir de un estudio de la huella de carbono de producto (HCP, o PCF por sus siglas en inglés) en las minas A, B, C, D y E. Este estudio es la base de la formulación de un ACV enfocado en las emisiones de GEI generadas en el ciclo de vida de la MAPE. El estudio busca proveer a SBGI información exhaustiva y pertinente sobre los siguientes aspectos:

- Las principales fuentes de emisión de GEI en cada MAPE para las etapas de extracción del oro, procesamiento y transporte de materias primas.
- La etapa de transporte del producto final en el total de emisiones de GEI y su respectivo análisis en términos de distancias y modos de transporte.
- La etapa de refinamiento en Suiza.
- La huella de carbono del producto final (oro del 99 % de pureza).

La información anterior permitirá:

- Identificar las mejores prácticas en la MAPE, así como examinar oportunidades potenciales de mejora.
- Definir medidas para reducir las emisiones de GEI asociadas a la MAPE.

El presente estudio de HCP constituye un insumo informativo para la SBGI y sus miembros, y aunque no se desarrolla en un contexto directo de toma de decisiones ni pretende usarse con fines comparativos, sí busca proveer lineamientos base para la formulación de acciones, proyectos o estrategias encaminadas a la reducción y mitigación de los impactos ambientales asociados a la MAPE de oro, teniendo como base los casos de estudio seleccionados. Aunque el grupo de proyectos de MAPE que apoya la SBGI es numeroso, las minas de este estudio se seleccionaron por su tipología y ubicación geográfica.

La audiencia objetivo de este estudio es el público general, con especial interés en la audiencia de la cadena de valor de oro.

### Alcance del estudio

#### Generalidades

Este estudio incluye la presentación e interpretación de resultados de la HCP asociada a la producción de oro proveniente de las minas indicadas en la Tabla 2. Las cinco minas fueron seleccionadas teniendo en cuenta las diferentes tipologías de la pequeña minería en general y de otras minerías dentro del portafolio de SBGI. Así el estudio se enfoca en las siguientes minerías de pequeña escala: una mina de oro aluvial ubicada a gran altura, una mina de oro aluvial ubicada en tierras bajas, una mina semi-industrializada y una más artesanal o con poca mecanización. Por último, también se añadió una minería de escala mediana Dichas tipologías, en conjunto con la ley de cabeza, y la tecnología aplicada influirán en el cálculo de emisiones y los resultados finales de la huella de carbono de la unidad funcional analizada.

Tabla 2: Nombre, ubicación y características generales de las minas consideradas para el ACV

Nombre	Ubicación	Tipo de mina	Ley de oro geológico (concentración promedio)	Producción de oro fino 2021 (kg)
PE-002	Perú	Subterránea / Oro en veta. Pequeña. Semi-industrializada	14,24 g/ton	1.097
PE-006	Ananea, Perú	Cielo abierto / Aluvial. Pequeña. Ubicada a gran altura.	0,14 g/ton	40
CO-007	Segovia, Antioquía, Colombia	Mina a cielo abierto / Oro en veta. Mina de mediana escala	4,5 g/ton	188
CO-002	Rivera y Palermo, Huila, Colombia	Cielo abierto/ Aluvial. Pequeña. Ubicada en tierras bajas	0,106 g/ton	48
CO-011	Vetas, Santander, Colombia	Subterránea / Oro en veta . Pequeña. Con poca mecanización	6-7 g/ton	15

(Fuente: South Pole, 2022, con información suministrada por la mina)

### Función, unidad funcional y flujo de referencia

La función de los sistemas contemplados consiste en la producción de oro fino con una pureza de 99,99%, desde su extracción en las minas hasta su refinamiento en Suiza, para su comercialización. En este sentido, el flujo de referencia es el oro de 99,99 % de pureza y la unidad funcional es 1 kilogramo (kg) de oro.

Sin embargo, para calcular los impactos de forma precisa, se procedió a hacer el modelaje de los flujos de entrada y salida (datos del inventario) de las minas basándose en 1 kg de producto minado. En este caso, se podrán apreciar las diferencias del producto minado previo al refinamiento entre las minas consideradas.

### Enfoque de modelamiento de inventario

El enfoque del presente estudio de HCP es de tipo atribucional, es decir, se busca evaluar el impacto sobre el cambio climático de los sistemas considerados a lo largo de su ciclo de vida de forma independiente, sin entrar a evaluar los efectos derivados por cambios realizados en los sistemas (lo cual constituye un enfoque consecuencial).

Dentro de los límites de los sistemas analizados, la producción de oro lleva intrínseca la de otros minerales, principalmente de la plata. En este sentido, bajo un criterio económico, se realiza una asignación o distribución de los flujos de entrada y salida a los sistemas analizados. Esta asignación es coherente con el enfoque atribucional del estudio. El método del criterio económico viene justificado por la evidente predominancia del precio del oro en contraste con el de la plata. De acuerdo con los precios de referencia del oro y la plata del London Bullion Market Association, el precio promedio diario de una onza troy de oro fino en el 2021 fue de 1.521,2 euros. Como contraste, el precio promedio diario de una onza troy de plata fue de 21,2 euros en el mismo año.

### Límites del sistema

El presente reporte abarca un análisis del sistema desde la “cuna a la puerta”, incluyendo las etapas de extracción, procesamiento primario del mineral extraído, el transporte del producto (también llamado transporte *downstream*<sup>1</sup>) hacia Suiza, para su refinamiento, y la etapa de refinamiento del producto minado a oro de 99,99 % de pureza. Adicionalmente, se consideró el transporte de insumos (conocido también como transporte *upstream*<sup>2</sup>), desde los proveedores de los materiales hasta la entrada de la mina para las etapas de extracción y procesamiento.

Para las cinco minas consideradas, se contemplan cuatro etapas de ciclo de vida genéricas, tal y como se observa en la Ilustración 1. Los detalles de cada etapa varían según las características de la mina, pero se pueden entender de forma global como se describe a continuación.

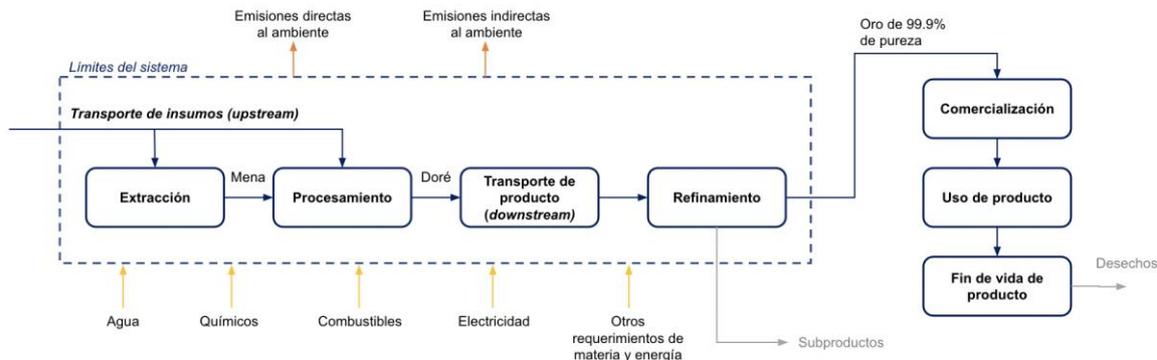


Ilustración 1: Etapas genéricas del ciclo de vida de los sistemas considerados

(Fuente: South Pole, 2022)

Si bien la ilustración presenta de forma general los flujos de materia y energía que ingresan y salen del sistema, cada una de las etapas contempladas tiene sus propios flujos de entrada y

<sup>1</sup> El término de transporte *downstream* hace referencia a todo el transporte que ocurre fuera de la mina después de que el producto se ha procesado. *Downstream* comprende actividades adicionales después del procesamiento en la cadena de valor.

<sup>2</sup> El término de transporte *upstream* hace referencia a todo el transporte que ocurre fuera de la mina antes de que el producto se extraiga o procese. *Upstream* incluye actividades previas en la cadena de valor para la obtención de los materiales necesarios para la extracción y el procesamiento.

salida. En este punto es necesario aclarar que, en algunos casos, se cuenta con datos del inventario del ciclo de vida que no están asignados a una etapa concreta, por lo que se asignan al proceso global.

### **Extracción**

Esta etapa tiene como objetivo la obtención del mineral que contiene el oro. Las técnicas empleadas para la extracción del mineral dependen del tipo de minería (subterránea, a cielo abierto y aluvial, o a cielo abierto y en veta), e incluyen principalmente actividades de exploración, preparación, perforación, voladura y sostenimiento. Así mismo, esta etapa incluye el transporte de las materias primas requeridas a la mina y del mineral a las instalaciones de procesamiento. El mineral estéril que es destinado a desmonte quedaría excluido por tener una mínima contribución en el cálculo de emisiones.

### **Procesamiento**

Esta etapa tiene como objetivo extraer el oro del mineral y concentrarlo hasta que sea un producto vendible. En el caso del oro en veta, se realizará a través de diferentes procesos fisicoquímicos, tales como trituración y molienda (para reducción de tamaño), flotación, lixiviación y otros procesos químicos metalúrgicos. El material resultante de esta etapa se denomina doré, y se define como la mezcla impura y sin refinar de oro metálico y plata. En el caso del oro aluvial, el procesamiento es más simple, reduciéndose a concentraciones gravimétricas y fundición.

La siguiente tabla muestra, para cada uno de los sistemas considerados, la composición másica del doré resultante de la etapa de procesamiento:

**Tabla 3: Composición del doré para cada uno de los sistemas considerados**

Mina	Composición másica del doré
PE-002	48,9 % de oro, 41,2 % de plata y 9,2 % de cobre y 0,7 % de otros minerales
PE-006	97 % de oro, 3 % de otros minerales
CO-007	99,3 % de oro, 0,7 % de otros minerales
CO-002	97 % de oro
CO-011	88,4 % de oro, 11,6 % de plata

(Fuente: South Pole, 2022, con información suministrada por cada mina)

En esta etapa también se incluye la etapa del laboratorio, donde se lleva a cabo el análisis de muestras y en algunos casos la fundición del oro.

Es importante resaltar que, para las minas objeto de este estudio, la etapa de procesamiento no comprende ninguna operación con mercurio. En línea con lo establecido en el Convenio de Minamata sobre el uso de este químico, la SBGI tiene el propósito de brindar apoyo y acompañamiento a las minas para la implementación de prácticas de minería responsables que sustituyan el uso del mercurio.

### **Transporte**

Esta etapa incluye todas las actividades de transporte desde la puerta de la mina hasta la etapa de refinamiento en Suiza. El transporte sigue una ruta general: transporte terrestre desde la mina hasta la ciudad más cercana, transporte aéreo desde la ciudad destino en América hasta el aeropuerto en Suiza; y finalmente transporte terrestre en un vehículo de seguridad desde el aeropuerto hasta el punto de refinación final. Para el punto final de refinación se tomó una refinería, cliente de las minas, como referencia. En el caso particular de la mina CO-002 y la mina CO-011, el transporte del producto de la mina a la ciudad más cercana se lleva a cabo de forma aérea (por avión). En el caso de la mina CO-007, el transporte del producto final se realiza por helicóptero.

### **Refinación**

Esta etapa consiste en la purificación del oro, que comprende métodos físicos, químicos o eléctricos, o una combinación de estos. En el caso particular de la refinería que recibe el doré de las minas de interés, los métodos empleados incluyen electrólisis, cloración y separación química por vía húmeda (*wet chemical parting*). En cuanto al análisis de laboratorio, en la refinería, se ejecutan ensayos de espectrometría, ICP, rayos X y ensayos químicos bajo certificación de la norma ISO/IEC 17025 de 2005 (Anónimo, 2022).

Profundizando en el método de cloración, este consiste en introducir cloro en un horno de crisol en el que se encuentra un lingote de oro fundido. El cloro en forma gaseosa reacciona con la plata y con cualquier metal básico remanente para formar cloruros. A la temperatura de operación, los cloruros de zinc y plomo son volátiles, mientras que los cloruros de plata y cobre se acumulan en la superficie del horno de crisol como escoria, la cual se retira. El oro fundido y refinado se moldea para formar lingotes. La escoria resultante se trata y se refina para recuperar la plata. Este método produce oro del 99,9 % de pureza (Norgate, 2011).

En cuanto al método de electrólisis, el metal impuro viene a ser el ánodo. Al introducirse en una solución de cloruro como electrolito y bajo la aplicación de corriente eléctrica, junto con una lámina de oro puro o de titanio como cátodo, se genera que el oro se vuelva a depositar en el cátodo. Este método produce oro de 99,99 % de pureza (Norgate, 2011).

En el modelamiento de análisis del ciclo de vida, la etapa de refinación se consideró igual para todos los sistemas de estudio contemplados con base a una referencia, ya que el doré y el oro libre de todas las minas llega a Suiza para su refinación. Para esta etapa, y por motivos de confidencialidad, no fue posible obtener datos de inventario específicos para el modelamiento (excepto el consumo de energía eléctrica para 2020-2021, el cual es de 9,089 MWh). La refinería de referencia suministró, en cambio, un valor de emisiones de GEI de 185 g CO<sub>2</sub>eq por kg de oro producido. Para el cálculo de dicho valor, vale la pena resaltar que el 85 % de la energía consumida proviene de fuentes renovables (Anónimo, 2022).

### Supuestos y exclusiones sobre etapas y procesos

Al definir los límites del sistema para este estudio, se decidió excluir las siguientes etapas de la cadena de valor del oro: la etapa inicial de exploración y las últimas etapas relacionadas con la comercialización, el uso y el fin de vida del producto. En el caso de la explotación, no se cuenta con la información requerida para el modelamiento de la etapa y, adicionalmente, se asume que la magnitud de los flujos es despreciable considerando tanto la escala de la actividad minera como la distribución de los valores entre los años de vida útil de la mina. En cuanto a las últimas etapas, estas no se consideran relevantes para el objetivo del estudio, ya que el foco del análisis se centra en identificar fortalezas y oportunidades de mejora de las prácticas de la MAPE.

En cuanto a residuos, solo se pudo asumir reciclaje para las minas PE-002 y CO-011 ya que estas minas pudieron ofrecer mayor granularidad en la clasificación de residuos. Para el resto de las minas, se asumió tratamiento sanitario de acuerdo con la base de datos globales del banco mundial para Colombia y Perú (The World Bank, 2019). Cabe señalar que, para Perú, el tratamiento más común de residuos es basurero abierto, pero al no existir un factor de emisión específico, se aproximó con el factor del relleno sanitario.

Es importante mencionar la exclusión de los siguientes procesos transversales en las diferentes etapas de ciclo de vida del oro:

- Construcción de infraestructura (caminos y carreteras): se asume que este proceso tiene un horizonte de tiempo mucho mayor a la vida útil de las minas y tiene aplicación en otros sistemas, por lo que se decide prescindir de su análisis.
- Actividades administrativas y de servicios de información: estas actividades de soporte no tienen un rol significativo en términos de emisiones de GEI en comparación con el proceso minero.
- Consumos relacionados con el personal y/o mano de obra del proceso minero en general.
- Cualquier material que haya sido utilizado durante un periodo mayor o igual a veinte años se excluyó del análisis (p. ej., diferentes túneles y otra infraestructura minera).

Otras exclusiones importantes de mencionar son las emisiones procedentes de la explosión de la dinamita o emisiones generadas del uso de los químicos, siguiendo las directrices del método de caracterización del ciclo de vida escogido, IPCC 2013 GWP 100a, escogido para el análisis de esta huella de carbono. El método IPCC 2013 GWP 100a no incluye:

- Formación indirecta del monóxido de carbono a partir de emisiones de nitrógeno.
- Fuerza radiativa debido a las emisiones de óxidos de nitrógeno, agua, sulfato, etc., en la baja y alta estratosfera.
- El rango de efectos indirectos dados por el IPCC.
- No incluye formación del dióxido de carbono a partir de las emisiones de monóxido de carbono.

### Representatividad de los datos de inventario

Los datos ingresados en el inventario tienen que cumplir una serie de criterios mínimos para asegurar la transparencia del estudio y, por lo tanto, su calidad. La norma ISO 14044 define

transparencia en este contexto como la presentación abierta, integral y entendible de la información. Los criterios que dictan la calidad de los datos de inventario son:

- La recolección de la información en su totalidad para todos los procesos incluidos en el alcance del inventario.
- La información recopilada tiene que ser de carácter primario para todos los procesos donde la entidad objeto de estudio tiene control o es propietaria.
- La información recolectada debe evaluarse bajo ciertos indicadores de calidad, siendo estos la representatividad tecnológica, geográfica y temporal, qué tan representativa es la información a nivel estadístico en relación con los sitios de proceso, y la confiabilidad de las fuentes de información, así como el método de recolección y los procedimientos de verificación.

Para el presente estudio, los indicadores de calidad son:

- Representatividad tecnológica: para los sistemas considerados, los métodos de extracción del mineral y su procesamiento son representativos de las prácticas de minería artesanal y en pequeña escala que se llevan a cabo en la actualidad y desde la última década (SDC, 2011; Valdivia & Ugaya, 2011). Lo anterior implica que, en línea con lo establecido en el Acuerdo de Minamata, las prácticas analizadas en este estudio no incluyen el uso del mercurio.
- Representatividad geográfica: al estar ubicados en Colombia y Perú, el modelamiento de los sistemas contemplados en este estudio utiliza información de estos países. En los casos en los que no se cuenta con datos específicos para cada país, se toman datos representativos de la región de América Latina y, si no hay valores específicos regionales, se toman valores promedio internacionales.
- Representatividad temporal: los datos del inventario “foreground” (datos en primer plano) provienen de información primaria suministrada por o recolectada directamente en las minas correspondiente al año 2021. El período de tiempo para el cual estos datos son representativos varía entre las minas, pues en algunas de estas, se ha presentado modificación de las prácticas de operación en los últimos años; por ejemplo, al iniciar operaciones, en algunas minas se realizaba amalgamación con mercurio, lo cual no sucede en la actualidad. En cuanto a los datos de inventario “background” (datos en segundo plano o de fondo), estos se tomaron de la base de datos de Ecoinvent V3.8, la cual se publicó en el año 2021 y contiene numerosos conjuntos de datos actualizados o validados para ser representativos de dicho año.

### Bases para la evaluación de impactos

El modelo de caracterización del ciclo de vida seleccionado para el análisis de HCP se basa en el quinto reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013), con un horizonte temporal de cien años, conocido como IPCC 2013 GWP 100a. Este modelo considera el cambio climático como única categoría de impacto, siendo el indicador de impacto el radiamiento forzativo medido como el potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés). Es importante resaltar que este modelo distingue tres dimensiones del cambio climático en términos de fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero: emisiones

## Informe final

---

por quema de fuentes fósiles, emisiones biogénicas y emisiones provenientes del uso y del cambio en el uso del suelo.

### Recolección de información

Para la recolección de los datos “foreground”, se llevaron a cabo diferentes actividades:

- Trabajo de campo (toma de datos, observación en sitio y toma de registro con medios audiovisuales) realizado durante el 2022
  - PE-002: 7 y 8 de febrero.
  - PE-006: 10 de febrero.
  - CO-007: 14 y 15 de febrero.
  - CO-002: 4 de abril.
  - CO-011: 6 de abril.
- Entrevistas (estructuradas y/o semiestructuradas) a trabajadores de las minas, ingenieros, etc., tanto de forma presencial como virtual.
- Diseño y entrega de formatos para la recolección de datos.
- Revisión de literatura en los casos en los que no fue posible contar con información primaria.

Los datos primarios recolectados corresponden a una temporalidad anual, tanto para las entradas como las salidas de materia y energía, en todos los procesos de producción del producto.

### Limitaciones del estudio

El análisis de HCP solo aborda las cuestiones ambientales especificadas en el objetivo y alcance del estudio. Por tanto, no es una evaluación completa de todas las emisiones del sistema productivo objeto de estudio. Además, el análisis de HCP no siempre puede demostrar diferencias significativas entre las categorías de impacto y los resultados de los indicadores relacionados para sistemas productivos alternativos. Entre las diferentes limitaciones se encuentran:

- El desarrollo de modelos de caracterización, análisis de sensibilidad y análisis de incertidumbre para la HCP.
- Delimitación de los límites del sistema que no engloben todas las unidades posibles del proceso para un sistema productivo o no incluya todas las entradas y salidas para cada una de las unidades del proceso, debido a exclusiones y/o ausencias de datos en la fase de inventario.
- Calidad inadecuada de datos, lo que puede causar incertidumbre o diferencias en la asignación y agregación de procesos en la fase de inventario.
- Limitaciones en la recolección de datos de inventario, apropiados y representativos, para cada categoría de impacto.

### Bases para el análisis de incertidumbre y sensibilidad

El análisis de incertidumbre se refiere a un proceso sistemático para cuantificar la incertidumbre introducida en los resultados del inventario del ciclo de vida por los efectos cumulativos de la imprecisión del modelo, incertidumbre de los datos de entrada y la variabilidad de los mismos datos, de acuerdo con la norma ISO 14040 e ISO 14047. Las fuentes más comunes de

incertidumbre se pueden encontrar en errores de medición de datos primarios, variabilidad natural en la medición, supuestos y métodos de cálculo elegidos para el tratamiento de los datos o al combinar el uso de distintas bases de datos o valores de fuentes diferentes.

El presente estudio considera únicamente un análisis de incertidumbre de carácter cualitativo en términos de la calidad de la información recolectada y su variabilidad, la influencia de los cálculos realizados en el tratamiento de los datos y los supuestos realizados para modelar las cinco minas. Se determinó que realizar un análisis cuantitativo de la incertidumbre en el modelamiento consumiría recursos clave que limitarían el desarrollo de los modelos de las cinco minas, y que de un análisis cualitativo se extraerían conclusiones igual de valiosas respecto a la precisión de los cinco modelos.

Como se mencionó en secciones anteriores, se anticipa incertidumbre presente en los supuestos hechos para el modelo, las bases de datos utilizadas y las elecciones que se tomaron al realizar el modelado para cada etapa del ciclo de vida de las cinco minas. Las elecciones de modelado fueron donde se observó que existen las mayores fuentes de incertidumbre. Aunque se espera una variabilidad inherente, tanto en las bases de datos utilizadas como en los métodos de impacto seleccionados, se considera que la mayor fuente de incertidumbre está en los supuestos hechos respecto a los materiales usados en el proceso y los sustitutos o aproximaciones encontradas en las bases de datos que se utilizaron en el modelo.

La fuente de incertidumbre que fueron los supuestos presentó el reto de emparejar los materiales usados en la producción de oro con los sets de datos existentes en Ecoinvent. Puesto que el producto requiere una cantidad considerable de químicos específicos para su producción, los supuestos facilitaron el modelamiento de datos compuestos que funcionaron como sustitutos al aproximarse a los materiales usados en campo. La disparidad en los materiales utilizados físicamente contra los modelados agrega variabilidad en la evaluación de los impactos seleccionados.

Por otro lado, un análisis de sensibilidad tiene la función de dar un indicativo de los parámetros más relevantes y con mayor influencia sobre el modelo del objeto de estudio. Se lleva a cabo al cambiar sistemáticamente un parámetro de entrada y observar su impacto en los resultados. En este estudio, se procedió a realizar un test de sensibilidad sustituyendo parte de la fuente de energía eléctrica utilizada por energía renovable en los Alcances 1 y 2. El análisis consiste en la comparación de dos escenarios por mina, el escenario de electricidad convencional (EC) y el escenario de electricidad a base de Certificados de Energía Limpia Internacional (CEL-I). El escenario EC representa el *estatus quo*, con los resultados obtenidos de las minas; y el escenario CEL-I, sustituye el consumo de electricidad suministrada por la red eléctrica por energías renovables, a través de la compra de CEL-I.

### Comparación metodológica con los reportes de World Gold Council

Asimismo, se procedió a hacer una comparativa de los resultados obtenidos en el presente estudio con los resultados obtenidos de los reportes de World Gold Council, *Gold and climate change: Current and future impacts* (junio, 2018) y *Gold and climate change current and future impacts* (octubre, 2019), ya que se utilizan como referencia para el nivel de emisiones en el sector de la minería de oro. Sin embargo, es importante destacar que las comparaciones son limitadas entre los resultados de la huella de carbono del presente reporte y los resultados de los reportes

de World Gold Council, ya que utilizan supuestos diferentes y los datos de inventario son de años distintos.

### 3. Análisis de la huella de carbono en la mina PE-002

#### Descripción general de la mina

La minera a cargo de la mina PE-002 es una empresa de pequeños productores mineros dedicados a la explotación de oro y otros metales, acopiando mineral de mineros artesanales en proceso de formalización. Dicha minera, tiene como misión contribuir al progreso socioeconómico de su área de influencia, generando valor para todos los actores involucrados. De igual manera, un objetivo primordial para esta empresa radica en ser aceptados en la comunidad minera como una entidad responsable con el ambiente y el entorno social. En la siguiente tabla se indican características generales de la mina.

Tabla 4: Nombre, ubicación y características generales de la mina PE-002

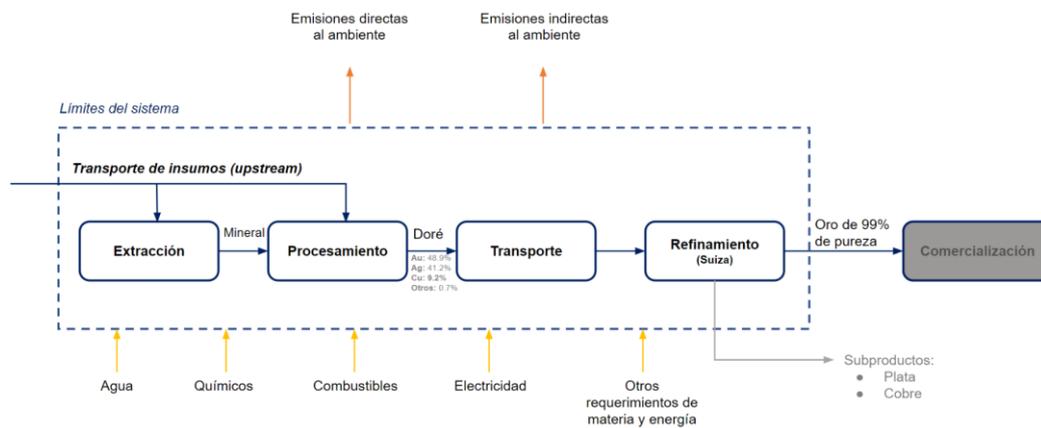
<b>Nombre de la empresa:</b>	PE-002
<b>Clasificación:</b>	Minería en pequeña escala
<b>Ubicación:</b>	Perú
<b>Descripción de la actividad:</b>	Explotación del oro y otros metales en operaciones mineras y acopio de mineral de mineros artesanales formalizados o en proceso de formalización
<b>Operaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Varias operaciones en el área, algunas subcontratadas</li><li>• Planta de Beneficios de Minerales de Alpacay</li><li>• Laboratorio químico</li></ul>
<b>Inicio de operaciones:</b>	2000
<b>Año de referencia:</b>	2021
<b>Área ocupada:</b>	509.974 ha
<b>Área transformada:</b>	31.748 ha
<b>Tipo de terreno y vegetación antes de</b>	Terreno árido; vegetación arbórea y arbustiva del tipo

<b>Nombre de la empresa:</b>	PE-002
<b>convertirse en sitio minero:</b>	temporal erguido
<b>Método de extracción:</b>	Subterráneo, oro en veta
<b>Producción anual de oro puro:</b>	1.097 kg
<b>Composición del doré:</b>	Au: 48,9 %; Ag: 41,2 %; Cu: 9,2 % y otros: 0,7 %
<b>Ley de cabeza (concentración promedio):</b>	14,24 gr/ton de tierra escarbada
<b>Vida útil restante de acuerdo con la producción actual:</b>	8 - 10 años

(Fuente: South Pole, 2022, con información suministrada por cada mina)

## Análisis de inventario del ciclo de vida

### Diagrama general del proceso

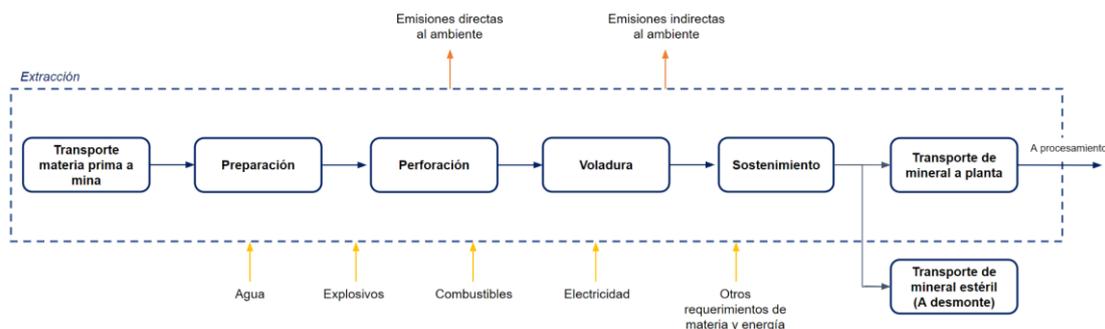


### Ilustración 2: Etapas genéricas del ciclo de vida de la mina PE-002

(Fuente: South Pole, 2022)

### Descripción de las etapas del ciclo de vida

#### Extracción



**Ilustración 3: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina PE-002**

(Fuente: South Pole, 2022)

Esta etapa incluye actividades de preparación, perforación, voladura, sostenimiento y transporte en la mina PE-002, la cual es una mina subterránea. Se incluye el transporte de materia prima de Lima a la mina. Por materia prima se entiende todos los materiales que son necesarios durante la extracción (ej. combustible, dinamita, puntales.). También se incluye el transporte del mineral a la planta de beneficio, no solo desde la mina PE-002, pero también desde Acopio y Chalhuane. El transporte del mineral estéril al desmonte no se incluye por tener un impacto mínimo en el sistema

El minado es convencional y utiliza equipos de perforación “Jack Leg” durante la preparación, y perforadoras “Stopper” durante la explotación. La perforación es horizontal y vertical dependiendo de las zonas a explotar. Para la voladura se emplea dinamita con fulminantes n.º 8, mecha de seguridad, mecha rápida, armada de mecha y, ocasionalmente, explosivos de emulsión. En los avances se usan palas neumáticas y para el transporte de materiales al interior de la mina, y para la extracción del mineral se utilizan locomotoras y carros mineros U35. El sostenimiento de las labores se realiza con madera: cuadros y puntales de seguridad. La ventilación principalmente es natural, pero se cuenta con ventiladores secundarios para algunas labores. La minera posee un generador eléctrico de 270 kW, el cual se usa en emergencias y se alimenta con diésel. El transporte de la mina a la planta de procesamiento ubicada en la zona de Alpacay se realiza por medio de volquetes y recorre una distancia de 25 km.

Es importante mencionar que el mineral extraído de la mina PE-002 no es el único que se envía a la subsecuente etapa de procesamiento en la Planta de Beneficio de Minerale de Alpacay. Del mineral que ingresa a la planta, el 40 % proviene de la mina PE-002, el 30 % de Acopio y el 30 % restante de la mina Chalhuane. No obstante, solo se cuenta con información suministrada por la mina PE-002. Por esta razón, se realizó una extrapolación de los datos de inventario recolectados para la etapa de extracción, correspondientes al 40 % del total. Esta extrapolación se basa en el supuesto de que todas las minas presentan las mismas formaciones geológicas, por lo que los esfuerzos de extracción son similares para todas las minas.

Procesamiento

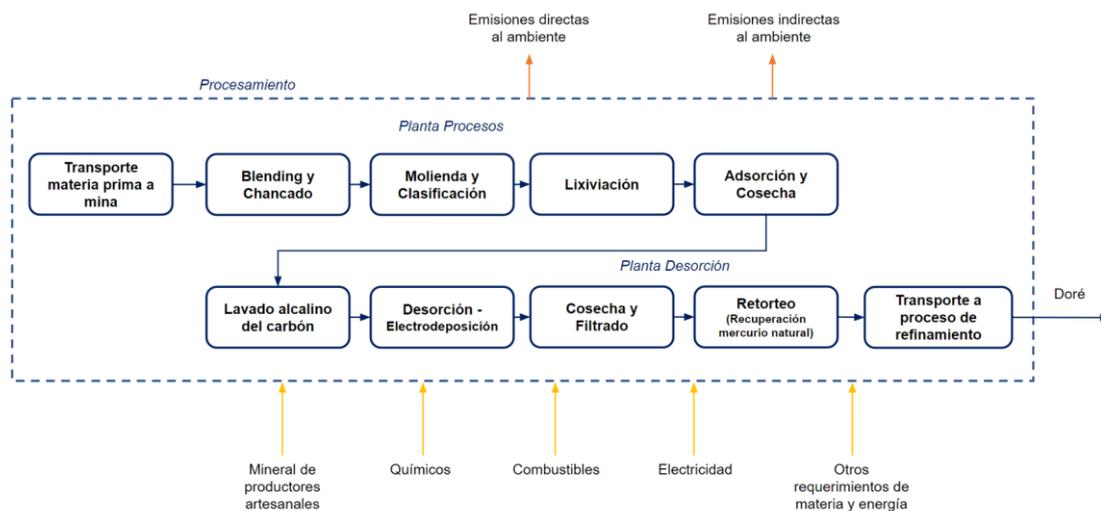


Ilustración 4: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina PE-002

(Fuente: South Pole, 2022)

Esta etapa incluye actividades de procesamiento primario del oro realizadas en la Planta de Beneficio de Minerales con capacidad de tratamiento de 150 toneladas/día. El mineral que se trata proviene de minas propias y de mineros artesanales que trabajan dentro de las concesiones de la empresa (acopio). El proceso de tratamiento para obtener el producto final es el carbón en pulpa (CIP). En paralelo a esto, se cuenta con una planta piloto de flotación y una planta piloto de lixiviación intensiva para la investigación de minerales refractarios. Asimismo, hay una fase de retorteo en la planta de desorción que corresponde a la recuperación de mercurio que ocurre naturalmente en el mineral extraído y luego procesado.

El modelamiento de esta etapa contempla generación de aguas residuales, tanto domésticas como industriales. Asimismo, esta etapa considera actividades de análisis en laboratorio, que incluyen ensayos químicos y físicos de muestras sólidas y líquidas provenientes de las etapas de exploración, extracción, procesamiento y acopio. Finalmente, como parte de las actividades de transporte, se incluye el transporte de la materia prima necesaria para procesar el oro en la planta. Por materia prima se entiende todos los materiales necesarios para poder llevar a cabo el procesamiento, como químicos, y las bolas de hierro que emplea el molino.

Transporte

A diferencia del transporte de materia prima a la mina y el transporte interno entre procesos, esta etapa hace referencia al transporte del doré que ocurre desde la salida de la planta de procesamiento hasta su entrada en el proceso de refinamiento. El transporte del doré ocurre dentro de cajas de ABS en cuatro recorridos:

1. En la primera fase del recorrido, el doré se transporta en camionetas blindadas durante aproximadamente 300 km, cubriendo la distancia desde la planta de beneficio hasta el primer punto de entrega. El tipo de transporte fue modelado con un peso bruto vehicular de 9,29 toneladas y un motor EURO 3.
2. La segunda fase del recorrido se lleva a cabo desde el punto de entrega anterior hasta Lima, donde el doré recorre aproximadamente 1.000 km en el mismo tipo de transporte terrestre que en la fase anterior.
3. Para la tercera fase del recorrido, el doré dentro de las cajas de ABS viaja en una bodega en el fuselaje de un avión desde Perú hasta Suiza, recorriendo aproximadamente 10.700 km.
4. La fase final del recorrido es una distancia de aproximadamente 200 km desde el aeropuerto hasta la ubicación final de las instalaciones para el refinamiento del doré. El transporte en esta cuarta fase del recorrido se lleva a cabo en camionetas blindadas. Las camionetas blindadas fueron ingresadas con un peso bruto vehicular de 9,29 toneladas y con motor EURO 6.

#### Datos de inventario del ciclo de vida

Tabla 5: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina PE-002

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Agua	68.979	m <sup>3</sup>	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Diésel-ACPM	52.279	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Gasolina	345	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Arma de mecha	431.348	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Dinamita al 45 % - Exadit	9.492	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Dinamita al 65 % - Exadit	1.860	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Dinamita al 65 % - Semexsa	26.715	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Dinamita al 80 % - Semexsa	3.667	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Emulnor 1000 1x12 (caja x 25 kg -	140.700	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
150 cartuchos)				
Emulnor 3000 1x12 (caja x 25 kg - 144 cartuchos)	146.975	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Emulnor 5000 1x8 (caja x 25 kg - 216 cartuchos)	12.350	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Fulminante simple n.º 8	321.843	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Mecha de seguridad	610.461	m	Ecoinvent v3.8	Extracción
Mecha rápida	114.450	m	Ecoinvent v3.8	Extracción
Puntal 5"	7.036	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Puntal 6"	16.167	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Puntal 7"	12.282	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Puntal 8"	7.927	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Escaleras	1.288	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Riel de acero	979	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Malla electrosoldada n.º10 cocada 4x4. Alto 2.4 m	3.950	m	Ecoinvent v3.8	Extracción
<i>Split set</i> de 5' con placa y tuerca	7.939	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
<i>Split set</i> de 4' con placas y tuercas	7.389	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
<i>Split set</i> de 3' con placas y	1.689	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
tuercas				
Transporte de carga: 16-32 toneladas métricas - EURO 3	1.848,04	ton-km	Ecoinvent v3.8	Extracción
Bola de acero 1"	23.039	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 1 ½"	27.152	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 2"	13.275	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 2 ½"	15.570	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 3"	21.525	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 4"	2.000	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cianuro de sodio (NaCN)	223.851	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Soda cáustica (NaOH)	65.975	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Carbón activado	21.450	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido clorhídrico al 33 % (HCl)	8.510	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Alcohol industrial de 94°I	50.600	L	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bórax anhidro	475	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	25	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Nitrato de sodio (NaNO <sub>3</sub> )	1.130	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Sílice	80	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa del ciclo de vida
Carbonato de sodio (NaCO <sub>3</sub> )	50	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Espato flúor	50	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido nítrico al 68.5 % (HNO <sub>3</sub> )	1.173	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido perclórico 69-72 % PA	18	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bórax decahidratado	1.565	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cloruro de amonio (NH <sub>4</sub> Cl)	1	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Copela de magnesita n.º 7x	205.807	unidad	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Crisol de cerámica de 30 g	2.954	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Fundente comp.: litargirio, carbonato, bórax, sílice)	28.898	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Gas propano 100 lb	70.221	L	BEIS 2021	Procesamiento
Hidróxido de amonio (NH <sub>4</sub> OH)	6	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cajas de ABS	55	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Electricidad	10.612.369	kWh	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Relave	64.620	m <sup>3</sup>	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Residuo plástico	870	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Residuo metálico	22.900	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Transporte tamaño de clase 16-32	4.849.000	ton-km	Ecoinvent v3.8	Procesamiento

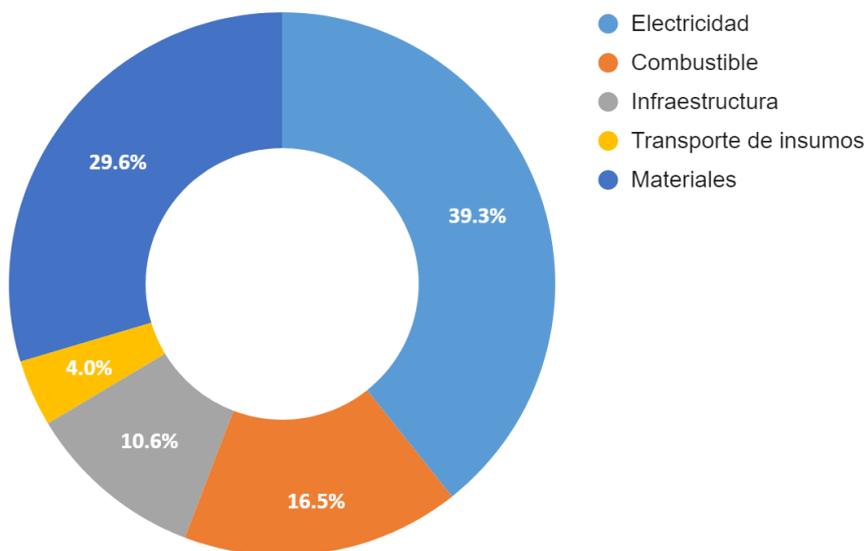
Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
toneladas - EURO 3				
Transporte con GVW (peso bruto vehicular) de 9,29 toneladas-EURO 3	2.943	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte aéreo: transporte en bodega - larga distancia	24.004	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte con GVW de 9,29 toneladas - EURO 6	504	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte

(Fuente: South Pole, 2022)

## Evaluación del impacto del ciclo de vida

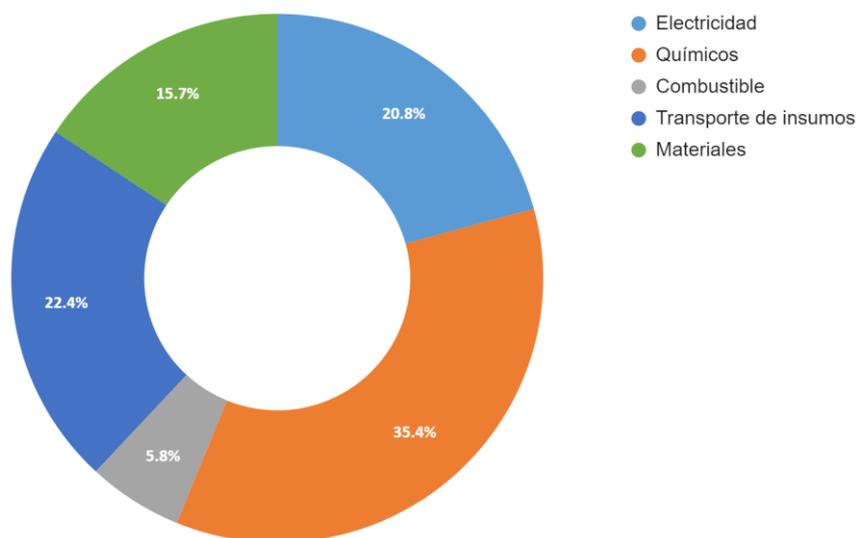
### Presentación de resultados

Los resultados presentados a continuación representan las emisiones por unidad funcional de acuerdo con la etapa del ciclo de vida. Los resultados de emisiones se clasificaron en seis categorías: Electricidad, Químicos, Combustibles, Infraestructura, Transporte *upstream*, y Materiales.



**Ilustración 5: Porcentaje de emisiones por categoría en extracción, mina PE-002**

(Fuente: South Pole, 2022)



**Ilustración 6: Porcentaje de emisiones por categoría en procesamiento, mina PE-002**

(Fuente: South Pole, 2022)

**Tabla 6: Tabla comparativa de emisiones que incluye la categorización por Alcances según el Protocolo GHG, mina PE-002**

Categoría	Extracción (kgCO <sub>2</sub> e)	Procesamiento (kgCO <sub>2</sub> e)	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Combustible	601	98	699	Alcance 1
Electricidad	1.433	353	1.786	Alcance 2
Infraestructura	387	0	387	Alcance 3
Químicos	0	601	601	Alcance 3
Transporte de insumos [ <i>upstream</i> ]	145	380	525	Alcance 3

Categoría	Extracción (kgCO <sub>2</sub> e)	Procesamiento (kgCO <sub>2</sub> e)	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Materiales	1.080	266	1.346	Alcance 3
Transporte de producto [downstream]	0	0	9,6	Alcance 3
<b>Total</b>	3.646	1.698	5.354	

(Fuente: South Pole, 2022)

### Interpretación de resultados

En la Tabla 6 se muestra el análisis global de las emisiones de la mina PE-002 por kg de oro, las cuales suman aproximadamente 5.354 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro, siendo la extracción la etapa del ciclo de vida con mayor cantidad de emisiones con un factor de emisión de 3.646 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro extraído. La Ilustración 5 muestra la distribución de emisiones durante la extracción, donde un 39,3 % de las emisiones proviene del uso de electricidad seguido de los materiales, con un 29,6 % de las emisiones. Los materiales incluyen principalmente la dinamita. El alto consumo de electricidad se debe a que las vagonetas que se utilizan en la mina para transportar el material desde dentro de la mina hacia la superficie usan baterías eléctricas. Además, las bombas de agua utilizadas durante el proceso de extracción son mayores consumidores de electricidad. El uso de maquinaria a base de electricidad como bombas de agua durante el proceso de extracción, al interior de la mina, pueden ser los mayores consumidores de electricidad. Por otro lado, el consumo de explosivos es el que más peso tiene en los materiales en extracción.

La etapa de procesamiento representa aproximadamente 1.698 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro extraído; la Ilustración 6 muestra que el 35,4 % de las emisiones proviene del uso de químicos, seguido del transporte de insumos/*upstream* con un 22,4 % de las emisiones. El uso de cianuro para el procesamiento es el mayor contribuyente a las emisiones por químicos, ya que es el químico más consumido en la etapa de procesamiento. En cuanto a la etapa del transporte, la mayor cantidad de emisiones se relacionan principalmente con el transporte de insumos.

La Tabla 6 muestra la categorización de las emisiones según el alcance siguiendo la metodología del Estándar de Reporte y Contabilidad del Ciclo de Vida de un Producto (*Product Life Cycle Accounting Reporting Standard*) desarrollado por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). El Alcance 1 cubre unas emisiones de 699 kgCO<sub>2</sub>e procedentes del combustible. Las emisiones correspondientes a la electricidad serían de 1.786 kgCO<sub>2</sub>e contabilizadas bajo el Alcance 2 y, con el mayor número de emisiones, un total de 2.869 kgCO<sub>2</sub>e bajo el Alcance 3.

## 4. Análisis de la huella de carbono en la mina CO-007

### Descripción general de la mina

La mina CO-007 es un proyecto minero aurífero de mediana escala operado en Colombia. La siguiente tabla indica características generales de la mina.

**Tabla 7: Nombre, ubicación y características generales de la mina CO-007**

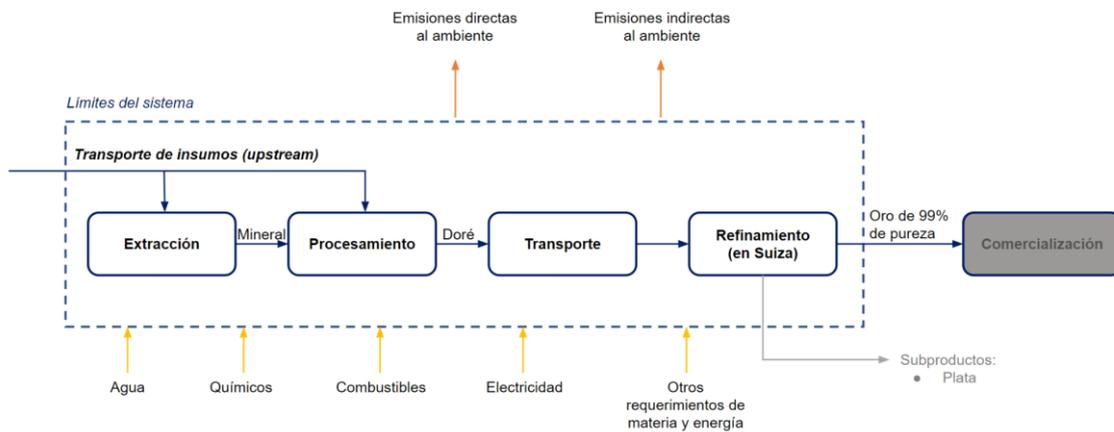
<b>Nombre de la empresa:</b>	CO-007
<b>Clasificación:</b>	Minería en mediana escala
<b>Ubicación:</b>	Municipio de Segovia, departamento de Antioquía, Colombia
<b>Descripción de la actividad:</b>	Extracción de mineral de oro a cielo abierto y por método de bancos descendentes. Beneficio por concentración con flotación espumante y cianuración
<b>Operaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción en instalaciones, lo que incluye caminos para transporte interno y externo de materiales</li> <li>• Planta de beneficio</li> <li>• Operaciones auxiliares de almacenamiento y gestión de colas, laboratorio, campos para trabajadores y helipuerto</li> </ul>
<b>Inicio de operaciones:</b>	2006
<b>Año de referencia:</b>	2021
<b>Área ocupada:</b>	7.943 ha
<b>Área transformada:</b>	100 ha - (2 ha transformadas)
<b>Tipo de terreno y vegetación antes de convertirse en sitio minero:</b>	Bosque andino
<b>Método de extracción:</b>	Extracción de mineral de oro a cielo abierto y por método de bancos descendentes

<b>Nombre de la empresa:</b>	CO-007
<b>Producción anual de oro puro:</b>	187,97 kg
<b>Composición del doré:</b>	99,3 %
<b>Ley de cabeza (concentración promedio):</b>	4,5 g/ton
<b>Vida útil restante de acuerdo con la producción actual:</b>	11 años

(Fuente: South Pole, 2022)

## Análisis del inventario del ciclo de vida

### Diagrama general del proceso



### Ilustración 7: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina CO-007

(Fuente: South Pole, 2022)

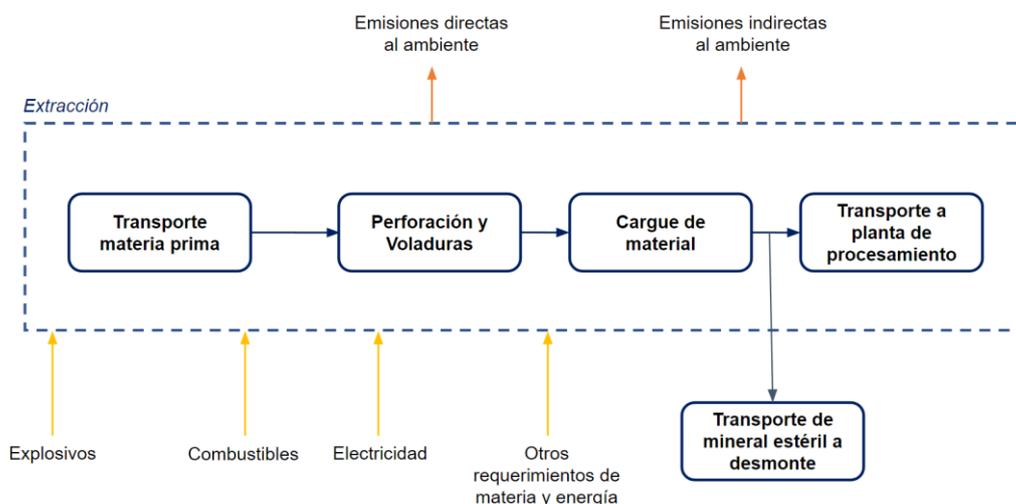
### Descripción de las etapas del ciclo de vida

#### Extracción

La etapa de extracción comprende una operación relacionada con procesos en superficie. La operación se basa en el método de bancos descendentes. Este método consiste en extraer el mineral en un primer nivel e ir descendiendo en bancos y terrazas intermedias hasta culminar en

el nivel o cota inferior de diseño. La selección de este método se basó en el área disponible para la extracción, siendo este el único factor limitante para la aplicación de otros métodos (por ejemplo, de cortas, contorno y descubiertas).

En la siguiente ilustración se detallan las operaciones de la etapa de extracción. Se inicia con el transporte de la materia prima necesaria para la extracción como la dinamita, pasando por el retiro y almacenamiento de la capa del suelo y las voladuras para extraer el mineral.



**Ilustración 8: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina CO-007**

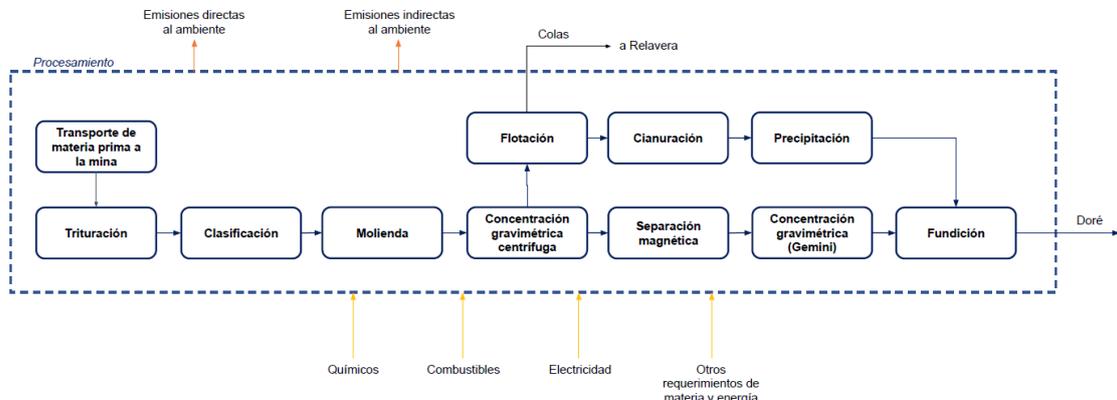
(Fuente: South Pole, 2022)

Las operaciones de perforación y voladura se realizan de forma mecanizada con un equipo Jumbo y perforadora neumática. Los explosivos utilizados son Indugel plus de 32\*250 mm y Anfo a granel, con cordón detonante, detonante Nonel y fulminante común número 8. Se cuenta con los siguientes esquemas de perforación:

- Pozo vertical: el avance de la voladura es de 1,14 m y la cantidad estéril de voladura es de 63 toneladas.
- Perforación de galerías, cruzadas y niveles: el avance de voladura es de 3,04 m y la cantidad de estéril para las cruzadas es de 187 toneladas. En los niveles se espera una producción de 80 toneladas de mineral y 107 toneladas de estéril.
- Tambores y sobreguías: el avance de voladura es de 1,14 metros. Para los tambores de descarga el volumen de estéril es de 11,6 ton, y para los tambores de producción se espera que las 11,6 ton sean de mineral.

El desembombe se realiza con un equipo Scamec 2000 M a diésel.

### Procesamiento



**Ilustración 9: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina CO-007**

(Fuente: South Pole, 2022)

El procesamiento del mineral se lleva a cabo en una planta de beneficio minero metalúrgico con capacidad para procesar 300 toneladas de mineral al día. La planta cuenta con tres líneas de trituración, dos molinos de bolas en paralelo, un circuito de concentración gravimétrica compuesto por un Knelson y una mesa Gemini 1000, un circuito de flotación en serie de celdas circulares, una etapa de cianuración compuesta por tres agitadores y dos espesadores y, para la fase final de recuperación de metales preciosos, el proceso Merrill Crowe. A continuación, se detallan las diferentes operaciones de la etapa de procesamiento:

- **Trituración:** el objetivo de esta operación consiste en reducir el tamaño de roca del material extraído a una granulometría de  $\frac{1}{4}$ ". Para ello, se cuenta con un circuito de tres trituradoras: la primaria procesa el material de tamaño mayor de 8", la secundaria el material de tamaño mayor de 1" y, por último, con la terciaria se busca obtener el 100 % del material con la granulometría final.
- **Molienda:** se cuenta con dos molinos de bolas instalados en paralelo, en los que ingresa el material triturado y se adiciona agua con el fin de formar una suspensión de sólidos al 65 % denominada pulpa.
- **Concentración gravimétrica-centrífuga:** esta operación tiene como fin recuperar oro libre, y se lleva a cabo en un concentrador centrífugo (Knelson). El concentrado se envía a un tanque de seguridad ubicado en el cuarto de oro (*gold room*), para someterse a un proceso de concentración gravimétrica (Gemini) para su limpieza y secado antes de fundirse. Por su parte, la descarga se envía hacia una batería de ciclones que realizan la clasificación granulométrica de la molienda. El bajo flujo de los ciclones retorna a los molinos, mientras que el sobreflujo se envía a la etapa de flotación.
- **Flotación:** esta operación se basa en la adición de reactivos que modifican selectivamente la propiedad de mojabilidad de los minerales. Al añadir un espumante a las celdas de flotación, se forma una capa en la que se concentran los minerales que contienen el oro y se separan por rebose para ser enviados a la operación de cianuración. Por la parte inferior de las celdas de flotación sale una corriente de colas hacia una relavera en la que se realiza un tratamiento previo a su disposición final.
- **Cianuración:** en un circuito de agitadores en serie, se adiciona cianuro de sodio a la pulpa para generar la lixiviación del oro. Una vez permitido un tiempo de residencia de 48 horas, la pulpa pasa por un proceso de decantación a contracorriente en dos

espesadores en serie. De estos equipos se obtienen dos corrientes: una solución enriquecida en oro que se envía a una operación de precipitación Merrill Crowe, y una pulpa que se envía a un proceso de neutralización y descomposición del cianuro para su disposición.

- Precipitación: la solución enriquecida en oro se filtra en un clarificador, se dosifica a una torre de vacío para la extracción del oxígeno y se alimenta a un cono mezclador donde se añade cinc en polvo para promover la precipitación del oro en su estado metálico. El precipitado obtenido pasa por un filtro prensa hidráulico, se envía a un horno de secado y, finalmente, se funde en un horno basculante con la mezcla apropiada de fundentes para obtener la producción.

### Transporte

Esta etapa hace referencia al transporte que ocurre desde la salida de la planta de procesamiento hasta su entrada al proceso de refinamiento. El transporte ocurre en tres fases distintas, en donde el tipo de transporte se ve directamente influenciado por la geografía de la localización de la mina:

1. La primera fase del recorrido se realiza a través de un helicóptero que transporta el producto desde la mina hasta Medellín. En un mes se realizan tres viajes a Medellín, con una duración de 50 minutos por viaje.
2. La segunda fase del recorrido es el transporte aéreo del producto en la bodega de un avión desde Medellín hasta el aeropuerto de Zúrich, recorriendo una distancia aproximadamente de 9.000 km.
3. La tercera fase del recorrido, llevada a cabo en camiones blindados, es una distancia de aproximadamente 300 km desde el aeropuerto de Zúrich hasta las instalaciones para el refinamiento del producto en Suiza. Para el transporte de seguridad, se modeló con un peso bruto vehicular de 9,29 toneladas. y con motor EURO 6, estándar en Europa.

### Datos de inventario del ciclo de vida

Tabla 8: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina CO-007

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Agua	179.120	m <sup>3</sup>	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Diésel - ACPM	198.878	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Gasolina	1.096	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Indugel Plus AP 26x250 mm, 32x250 mm	46.887	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Geomantos de fibras biodegradables	7.700	m <sup>2</sup>	Ecoinvent v3.8	Extracción
Transporte de carga: 16-32 toneladas métricas - EURO 3	101.414	ton-km	Ecoinvent v3.8	Extracción
Transporte aéreo: helicóptero	12	h	Ecoinvent v3.8	Extracción
Geomembrana de HDP 60 um	2.163	m <sup>2</sup>	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido clorhídrico 37 % x 2.5 L	34	L	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido nítrico 50 % comercial	225	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido nítrico 65 % grado analítico (HNO <sub>3</sub> )	10	L	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bórax decahidratado	4.825	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Acetileno grado AAS A7 6.5 m <sup>3</sup>	175.500	L	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Gas LP, cilindro de 100 l	26.390	L	BEIS 2021	Procesamiento
Copela de magnesita n.º7 (82.49 g/copela)	3.077	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Crisol de cerámica	3.905	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Fundente	5.275	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Nitrato de plata (AgNO <sub>3</sub> )	4	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Bola de acero 1"	5.000	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 2"	24.000	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 2 1/2"	30.000	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bola de acero 3"	42.000	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cianuro	67.400	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cal (CaOH <sub>2</sub> )	42.710	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Sulfato de cobre (CuSO <sub>4</sub> )	7.275	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Sulfato de hierro (Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	7.275	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Floculante	176.450	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Xantato amílico de potasio	3.366	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	1.250	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
LPG (100 lb)	203	unidad	BEIS 2021	Procesamiento
A-65 espumante	2.926	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cinc	7.800	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	396	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Hipoclorito de sodio (NaClO)	25	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	200	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa del ciclo de vida
Bicarbonato de sodio (NaHCO <sub>3</sub> )	875	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )	9.600	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	585	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Celita	1.566	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Soda cáustica (NaOH)	2.225	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Tanque de oxígeno (60 kg)	88	unidad	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Acetato de plomo	150	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Metabisulfato de sodio (N <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	3.375	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Xantato	4.688	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Sal (NaCl)	488	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Azúcar	141	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
A65 Espumante	2.927	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
A208 (colector)	2.530	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Electricidad	3.181	kWh	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Residuos	83.028	t	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Transporte tamaño de clase 16-32 toneladas EURO 3	133.181	ton-km	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Transporte aéreo: helicóptero	30	h	Ecoinvent v3.8	Transporte

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Transporte aéreo: transporte en bodega - larga distancia	1.723	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte con GVWde 9,29 toneladas - EURO 6	42	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte

(Fuente: South Pole, 2022)

## Evaluación del impacto del ciclo de vida

### Presentación de resultados

Los resultados presentados a continuación representan las emisiones por unidad funcional de acuerdo con la etapa del ciclo de vida; además, el transporte aguas abajo se consideró dentro de la etapa de procesamiento para un mejor análisis. Los resultados de emisiones se clasificaron en seis categorías: Electricidad, Químicos, Combustibles, Infraestructura, Transporte de insumos/*upstream* y Materiales.

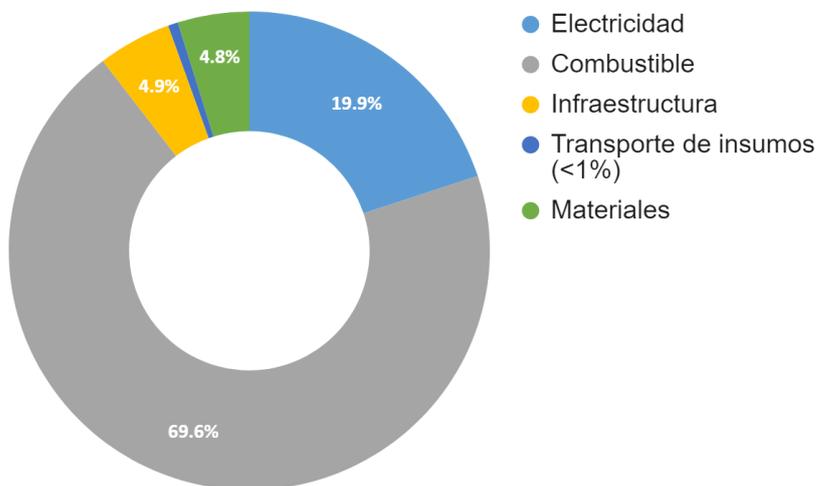


Ilustración 10: Porcentaje de emisiones por categoría en extracción, mina CO-007

(Fuente: South Pole, 2022)

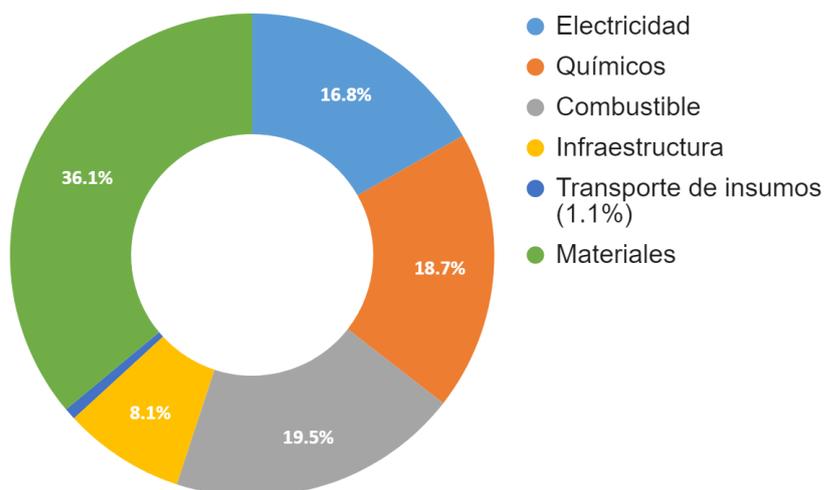


Ilustración 11: Porcentaje de emisiones por categoría en procesamiento, mina CO-007

(Fuente: South Pole, 2022)

Tabla 9: Tabla comparativa de emisiones, mina CO-007

Categoría	Extracción (kgCO <sub>2</sub> e)	Procesamiento (kgCO <sub>2</sub> e)	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Combustible	10.197	3.069	13.265	Alcance 1
Electricidad	2.920	2.640	5.560	Alcance 2
Infraestructura	723	1.280	2.003	Alcance 3
Químicos	0	2.949	2.949	Alcance 3
Transporte de insumos [ <i>upstream</i> ]	99	122	221	Alcance 3
Materiales	705	5.672	6.377	Alcance 3

Categoría	Extracción (kgCO <sub>2</sub> e)	Procesamiento (kgCO <sub>2</sub> e)	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Transporte de producto [downstream]	0	0	22	Alcance 3
<b>Total</b>	14.644	15.731	30.398	

(Fuente: South Pole, 2022)

### Interpretación de resultados

El análisis global muestra que la mina CO-007 tiene un factor de emisión de 30.398 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro producido. La etapa de extracción contribuye a las emisiones del proceso con aproximadamente 14.644 kgCO<sub>2</sub>e; la Ilustración 10 muestra que la mayor parte de estas emisiones proviene del uso de combustibles, con un 69,6 %, seguido del consumo de electricidad, con un 19,9 %. Esto sugiere que la extracción no tiene una eficiencia óptima, ya que se requiere mucha energía para la producción anual de 188 kg de oro reportada para la mina CO-007.

La etapa de procesamiento es la fase con mayor número de emisiones, con aproximadamente 15.731kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro producido. Esto puede deberse a que la mina utiliza un generador de electricidad de emergencia de 800 Kva, que utiliza 35-40 galones de diésel por hora. Las fracciones con más peso de acuerdo con la Ilustración 11 son los materiales, que representan el 36,1%, seguido del combustible y los químicos, con un 19,5 % y un 18,7 % respectivamente. Dentro de los materiales, las partidas con mayor peso son el tratamiento de los residuos y el consumo de las bolas de hierro utilizadas en los molinos para la molienda del mineral. Dentro de los químicos, la partida con más peso corresponde al cianuro de sodio, utilizado en el proceso de cianuración. Debido al tipo de proceso en la mina CO-007, se requiere mayor cantidad de químicos y electricidad. Cabe destacar que el peso de las distintas partidas es claramente diferente en la mina CO-002 con respecto a PE-002 aunque utilicen similares tecnologías. La diferencia radica en una mayor cantidad de residuos reportados en CO-002.

En cuanto a la distribución de emisiones según los alcances, el Alcance 1 con unas emisiones totales de 13.265 kgCO<sub>2</sub>e es el más elevado, seguido del Alcance 3 con 11.482 kgCO<sub>2</sub>e y Alcance 2 con un total de 5.560 kgCO<sub>2</sub>e.

## 5. Análisis de la huella de carbono en la mina CO-011

### Descripción general de la mina

La mina CO-011 se encuentra en Colombia. Se trata de una cooperativa minera de actividad ancestral por ser símbolo de la historia con gran valor histórico y cultural que representa el desarrollo de la pequeña minería en el municipio de Vetas. Según su título minero, la sociedad lleva operando en el sitio desde 1963, aunque las labores mineras llevan desarrollándose en el lugar desde hace más de cien años. El área ocupada es de 16 ha y 910 m<sup>2</sup>, que comparte con otra mina que también explota de forma subterránea en el mismo área. El oro se obtiene en un porcentaje muy pequeño en oro libre que se funde *in situ*, mientras que el monto más grande se trata de oro precipitado que se envía a Bucaramanga una vez al mes para su purificación.

**Tabla 10: Nombre, ubicación y características generales de la mina CO-011**

<b>Nombre de la empresa:</b>	CO-011
<b>Clasificación:</b>	Minería cooperativa en pequeña escala
<b>Ubicación:</b>	Municipio de Vetas, Santander, Colombia
<b>Descripción de la actividad:</b>	Explotación del oro
<b>Operaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Exploración (excluida del análisis)</li> <li>● Extracción con uso de dinamita</li> <li>● Planta de beneficio con tanques de lixiviación</li> </ul>
<b>Inicio de operaciones:</b>	1963
<b>Año de referencia:</b>	2021
<b>Área ocupada:</b>	16 ha y 910 m <sup>2</sup>
<b>Tipo de terreno y vegetación antes de convertirse en sitio minero:</b>	Bosque andino o alto-andino
<b>Método de extracción:</b>	Subterráneo
<b>Producción anual de oro puro:</b>	15,16 kg
<b>Composición del doré:</b>	Au: 88,4 %; Ag: 11,6 %

Nombre de la empresa:	CO-011
Ley de cabeza (concentración promedio):	6-7 g/ton

(Fuente: South Pole, 2022)

## Análisis del inventario del ciclo de vida

### Diagrama general del proceso

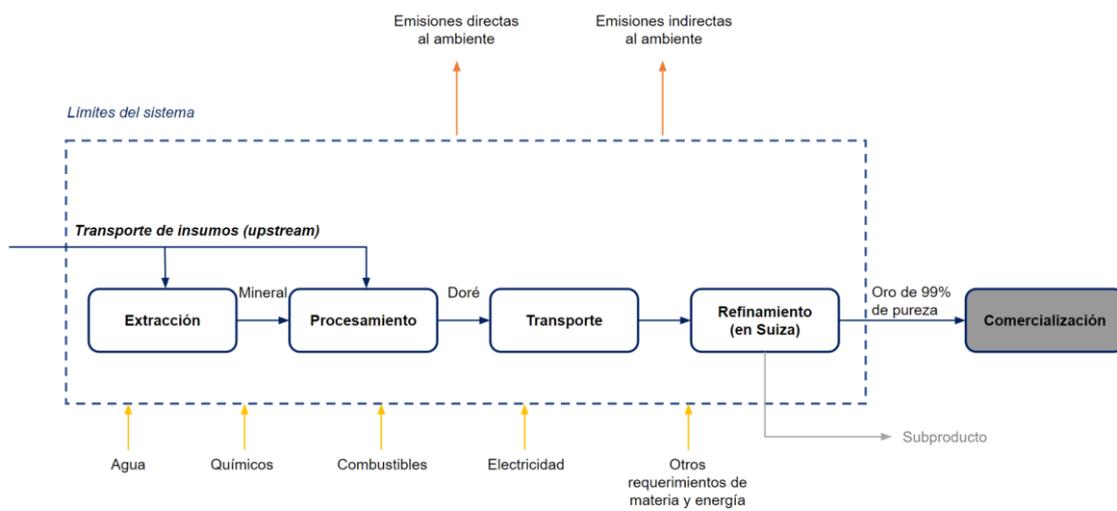
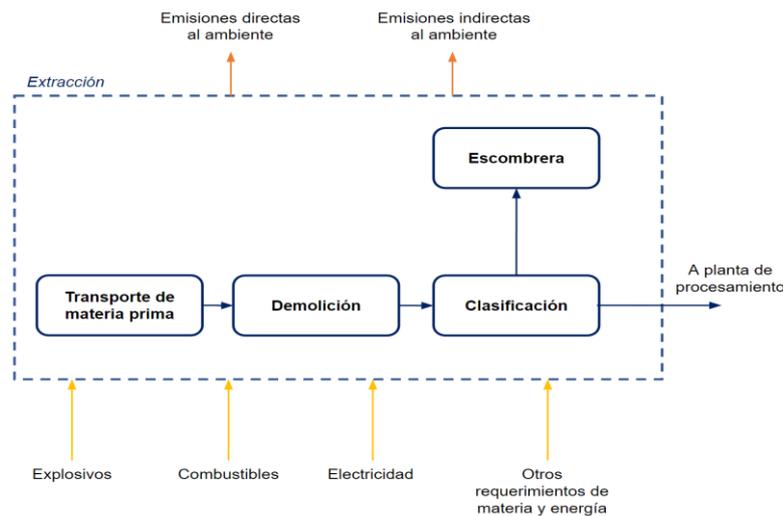


Ilustración 12: Diagrama general del proceso

(Fuente: South Pole, 2022)

## Descripción de las etapas del ciclo de vida

### Extracción



**Ilustración 13: Descripción de la etapa de extracción**

(Fuente: South Pole, 2022)

La extracción se realiza utilizando dinamita en los frentes de explotación en el interior de la montaña. Se lleva a cabo una demolición por día. El consumo de dinamita aproximado para un mes se almacena en unas instalaciones protegidas dentro de la mina.

Una vez que el mineral se desprende del frente, lo recogen los vagoneros y se lleva hasta la tolva. En la boca de la tolva, hay dispuesta una rejilla de metal que permite la entrada de los materiales de menor tamaño. Las rocas más gruesas se examinan y, si contienen oro, se reducen a menor tamaño para que puedan deslizarse por la tolva. El resto se traslada a la escombrera.

El cálculo de emisiones de la dinamita se llevó a cabo teniendo en cuenta la composición de nitrato de amonio, nitrato de sodio y composición de aceite, y los factores de emisión por kg/ton encontrados en la literatura para emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y dióxido de sulfuro. Para la mecha de la dinamita, se asumió que contiene pólvora negra, procediendo a calcular el peso de sus componentes (nitrato de potasio, sulfuro y carbón). En cuanto a los detonadores, se asumieron que están compuestos de aluminio.

Asimismo, se tuvieron en cuenta diversos materiales utilizados para la construcción y apalancamiento de los túneles como capices, palancas y tablas, y se asumió que todos proceden del eucalipto rojo, según fuentes consultadas durante la visita de campo.

Procesamiento

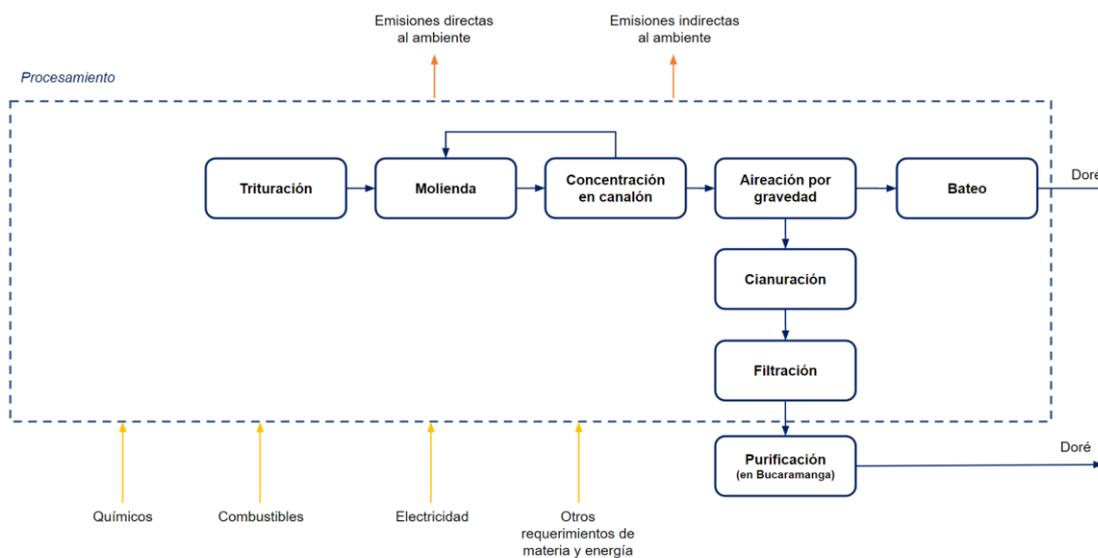


Ilustración 14: Descripción de las etapas de procesamiento

(Fuente: South Pole, 2022)

Los materiales que se deslizan por la tolva acaban en la planta de procesamiento donde el primer paso es la trituradora, seguida de molienda con un molino de bolas. El material fino se concentra a través de un canalón con agua en circulación cuyo fondo está cubierto por alfombras sintéticas donde queda atrapado el oro fino más denso. El material que sale demasiado grueso del molino se retorna al mismo.

El material fino menos denso que no se atrapa en las alfombras, ingresa en el separador JIG donde mediante el proceso de aireación por gravedad, se separa el material más diluido y se almacena en un tanque para, posteriormente, realizar el beneficio, mientras el material más concentrado pasa por una mesa gravimétrica. En la mesa gravimétrica, se recolecta oro libre a través del método de la batea. El lodo resultante continúa el proceso acabando en los tanques de lixiviación. En dichos tanques se aplican una serie de químicos, siendo el más relevante el cianuro, para proceder con el proceso de agitación. Luego, mediante filtración, los lodos pasan a un tanque donde se aplica cinc para precipitar el oro. El oro precipitado se lleva a Bucaramanga para su purificación, mientras que los lodos resultantes ricos en cianuro se neutralizan con peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre para luego secarlos y disponerlos. La etapa correspondiente a la purificación del oro en Bucaramanga cae fuera del sistema analizado por no disponer de información primaria o secundaria sobre este proceso.

El producto acabado de la mina es por tanto oro libre fundido *en situ* y oro purificado *ex situ*, los cuales se funde para dar lugar a un doré con un contenido de oro de 88,4 % y plata de 11,6 %

Las aguas utilizadas en el proceso se limpian mediante la utilización de tanques en secuencia, permitiendo de este modo la disminución de sólidos para su vertimiento a la quebrada Jaimes. El proceso consta de recolección de las aguas usadas en el proceso en un tanque donde se aplica cal para controlar el grado de acidez y basicidad (pH), y se aplica policloruro de aluminio (coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas). Posteriormente, las aguas se depositan en tanques para realizar la aplicación de la poliacrilamida, el floculante con el que se finaliza el proceso de sedimentación. Una vez que el floculante ha surtido efecto, el agua limpia se devuelve a la quebrada, mientras que las colas sedimentadas pasan a la relavera.

Al no disponer de sistemas de cuantificación del consumo de agua, se asumió como cantidad el derecho al uso de 602.700 litros por día para uso industrial multiplicado por los días hábiles en Colombia, resultando en un consumo anual de 148.781 litros.

La planta de procesamiento y beneficio funciona enteramente con electricidad. Se tuvo en cuenta la mezcla de electricidad de Colombia, de alto a medio voltaje, con un consumo anual de 311.880 kWh para computar las emisiones de carbono.

Como consumibles se tuvieron en cuenta las bolas de acero de diferentes tamaños que requiere el molino de bolas para hacer la molienda del mineral, así como las correas. Como se puede observar en la tabla del inventario, los químicos más importantes también se cuantificaron.

Finalmente, para la contabilización de los residuos sólidos y líquidos originados durante las etapas de extracción y procesamiento y al no disponer de información primaria, se tomaron como referencia las cantidades y características de residuos recolectadas durante la visita de campo a la mina PE-006. Por último, se excluyeron en el estudio los residuos líquidos generados o colas de la precipitación del oro, ya que se compran a un precio muy bajo debido a su escaso valor.

### **Transporte**

Esta etapa hace referencia al transporte del producto desde la salida de la mina hasta su entrada al proceso de refinamiento en Suiza. Se asumió que la ruta de transporte del producto está compuesta de cuatro recorridos:

1. Se asume que el primer recorrido involucra el transporte del producto en camionetas, cubriendo la distancia de aproximadamente 70 km desde la mina hasta el primer punto de entrega.
2. Para el segundo recorrido, se asume que se lleva a cabo en la bodega de un avión desde dicho punto de entrega hasta el aeropuerto de Medellín, recorriendo una distancia total de aproximadamente 300 km.
3. La tercera parte del recorrido se realiza desde Medellín hasta Zúrich, con una distancia de aproximadamente 9.000 km, donde el producto se transporta en la bodega de un avión.
4. En el recorrido final, el producto se transporta en camionetas blindadas a lo largo de una distancia de aproximadamente 200 km desde el aeropuerto de Zúrich hasta las instalaciones para el refinamiento del producto. Para este modelamiento, se asumieron camionetas blindadas con un transporte bruto vehicular de 9,29 toneladas y motor EURO 6.

Datos de inventario del ciclo de vida

Tabla 11: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina CO-011

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa del ciclo de vida
Agua de río	148.781	m <sup>3</sup>	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Diésel-ACPM	55	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción
Bórax	3.847	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Oxígeno (tanque de 60 kg)	157	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Propano (tanque de 45 kg)	75	kg	Ecoinvent v3.8, BEIS 2021	Procesamiento
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	80	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cal (Ca(OH) <sub>2</sub> )	960	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Soda cáustica (NaOH)	50	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	78	L	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Sulfato de cobre (CuSO <sub>4</sub> )	12	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Nitrato de sodio (NaNO <sub>3</sub> )	6	L	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Rodamina	450	ml	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Tiras medidoras de pH	378	unidad	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cloruro de bario (BaCl <sub>2</sub> )	90	ml	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Ferrocianuro	90	ml	Ecoinvent v3.8	Procesamiento

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Acetato de plomo	14	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Policloruro de aluminio	720	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Poliacrilamida	192	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Palancas	92	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Tablón	704	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Capiz	93	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Indugel	975	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Emulind	3.700	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Mecha	789.28	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Detonadores	28.700	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
ANFO	3.575	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción
Transporte de carga: 16-32 toneladas métricas - EURO 3	184.107	ton-km	Ecoinvent v3.8	Extracción
Cinc	600	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Cianuro	1.500	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Correas C-270	11	unidad	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Conector antiflaude explosivo	52	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Bola de acero 3.1/2"	250	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento

## Informe final

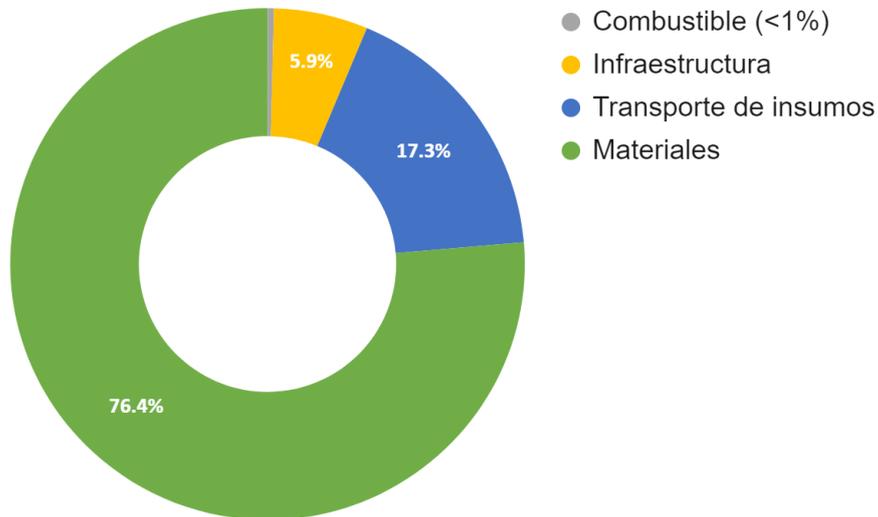
Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa del ciclo de vida
Bola de acero 4"	750	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Transporte de carga: 16-32 toneladas métricas - EURO 3	4.373	ton-km	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Electricidad	311.880	kWh	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Residuos	463	t	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Transporte comercial ligero	8	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte aéreo: transporte en bodega - corta distancia	5	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte aéreo: transporte en bodega - larga distancia	155	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte con GVW (peso bruto vehicular) de 9,29 toneladas	3,84	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte

(Fuente: South Pole, 2022)

## Evaluación del impacto del ciclo de vida

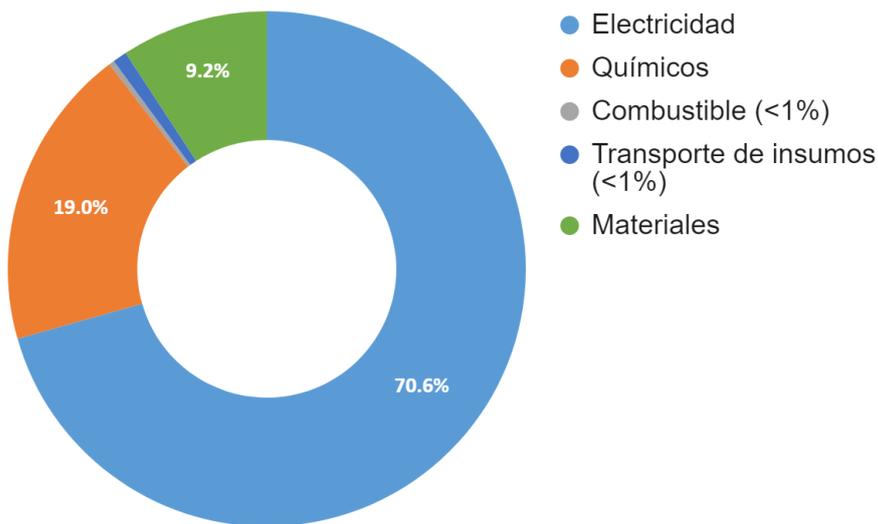
### Presentación de resultados

Los resultados presentados a continuación representan las emisiones por unidad funcional de acuerdo con la etapa del ciclo de vida. Los resultados de emisiones se clasificaron en seis categorías: Electricidad, Químicos, Combustibles, Infraestructura, Transporte de insumos/*upstream*, y Materiales.



**Ilustración 15: Porcentaje de emisiones por categoría en extracción, mina CO-011**

(Fuente: South Pole, 2022)



**Ilustración 16: Porcentaje de emisiones por categoría en procesamiento, mina CO-011**

(Fuente: South Pole, 2022)

Tabla 12: Tabla comparativa de emisiones, mina CO-011

Categoría	Extracción (kgCO <sub>2</sub> e)	Procesamiento (kgCO <sub>2</sub> e)	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Combustible	43	15	58	Alcance 1
Transporte de producto [ <i>downstream</i> ]	0	39	<1	Alcance 1
Electricidad	0	3.140	3.140	Alcance 2
Infraestructura	631	0	631	Alcance 3
Químicos	0	843	843	Alcance 3
Transporte de insumos [ <i>upstream</i> ]	1.850	39	1.889	Alcance 3
Materiales	8.151	409	8.560	Alcance 3
Transporte de producto [ <i>downstream</i> ]	0	0	8	Alcance 3
<b>Total</b>	10.675	4.446	15.129	

(Fuente: South Pole, 2022)

### Interpretación de los resultados

El análisis global muestra que la mina CO-011 tiene un factor de emisión de aproximadamente 15.129 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro producido. La Tabla 12 muestra que la etapa de extracción tiene la mayor intensidad de emisiones, con 10.675 kgCO<sub>2</sub>e, de los cuales los materiales contribuyen con el 76,4 % de acuerdo con la Ilustración 15. Las dos partidas con más peso en materiales son la cantidad de madera usada (tablones, palancas) y la cantidad de detonadores (28.700 unidades) como se puede observar en la Tabla 11 de inventario. La etapa de procesamiento tiene un factor de emisión de aproximadamente 4.446 kgCO<sub>2</sub>e, del cual la electricidad y los

químicos son los mayores contribuyentes, 70,6 % y 19 % respectivamente. La reducción por emisiones de electricidad representa un área de oportunidad si se invierte en energías renovables, y es más complicado reducir las emisiones por químicos ya que estos están ligados al rendimiento de la mina, sin embargo, la etapa de extracción tiene mayor área de oportunidad para reducir emisiones si se buscan mejoras en eficiencia en el uso de materiales. En cuanto a los alcances, el Alcance 3 es el que acumula mayor número de emisiones con un total de 11.931 kgCO<sub>2e</sub>, seguido del Alcance 2 con un total de 3.140 kgCO<sub>2e</sub> y, por último, el Alcance 1 con tan solo 58 kgCO<sub>2e</sub>.

## 6. Análisis de la huella de carbono en la mina PE-006

### Descripción general de la mina

La mina PE-006 se encuentra ubicada en Perú. El material que se explota son gravas auríferas de origen fluvio-glaciar, con un 97 % de pureza y una producción anual estimada de unos 39,84 kg de oro. La mina cuenta con una reserva estimada probable de 21.036.000,00 m<sup>3</sup> y una reserva estimada probada de 15.777.514,20 m<sup>3</sup>, constituyendo un tiempo de vida útil estimado de 45 años.

**Tabla 13: Nombre, ubicación y características generales de la mina PE-006**

<b>Nombre de la empresa:</b>	PE-006
<b>Clasificación:</b>	Minería en pequeña escala
<b>Ubicación:</b>	Distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno
<b>Descripción de la actividad:</b>	Explotación de oro
<b>Operaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Explotación de grava aurífera a cielo abierto</li> <li>● Extracción y procesamiento</li> <li>● Laboratorio químico</li> <li>● Fundición</li> </ul>
<b>Inicio de operaciones:</b>	2001
<b>Año de referencia:</b>	2021
<b>Área ocupada:</b>	200 ha
<b>Tipo de terreno y vegetación antes de convertirse en sitio minero:</b>	Terreno árido montañoso
<b>Método de extracción:</b>	Cielo abierto
<b>Producción anual de oro puro:</b>	39,84 kg

<b>Nombre de la empresa:</b>	PE-006
<b>Composición del doré:</b>	97 % de pureza y 3 % de otros minerales
<b>Ley de cabeza (concentración promedio):</b>	0,14 g/ton
<b>Vida útil restante de acuerdo con la producción actual:</b>	45 años

(Fuente: South Pole, 2022)

## Análisis del inventario del ciclo de vida

### Diagrama general del proceso

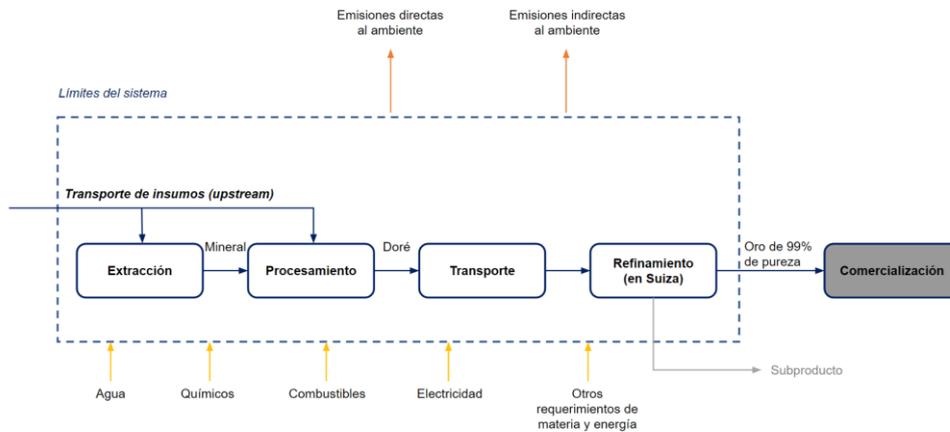
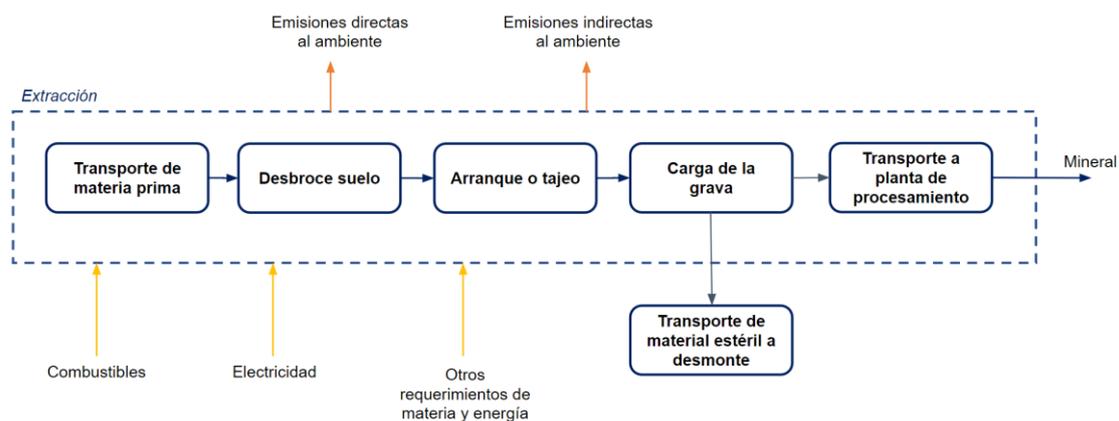


Ilustración 17: Diagrama general del proceso, mina PE-006

(Fuente: South Pole, 2022)

### Descripción de las etapas del ciclo de vida

#### Extracción



#### Ilustración 18: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina PE-006

(Fuente: South Pole, 2022)

El método de extracción es de tajo abierto en seco consistente en corte y relleno. Requiere el uso intensivo de maquinaria, tales como excavadoras, volquetes y cargadores frontales, entre otras, que se utilizan para desbrozar el suelo y para la extracción del material, su transporte y descargue hasta las tolvas de las plantas de lavado artesanal llamadas chutes. La altura del minado es variable, entre 4 y 15 metros, dentro de los parámetros de espesor de las gravas auríferas con valor económico comprendido entre los 6 y 30 metros de profundidad.

Esta etapa conlleva el uso intensivo de combustible para operar los diferentes tipos de maquinaria como volquetes y bombas de agua entre otros. Para el cálculo de emisiones, se asumió un lubricante diésel de la misma densidad que el diésel promedio de Perú basado en  $0,87 \text{ g/cm}^3$ . El consumo reportado por la mina para operaciones exclusivamente relacionadas con las actividades mineras fue de 55.304 galones en el año 2021.

En la extracción también hay consumo de agua procedente de dos fuentes hídricas diferenciadas:

1. Pozas de almacenamiento donde se recoge agua durante la época húmeda y que correspondió a un consumo anual de  $60.000 \text{ m}^3$
2. Agua procedente de la laguna La Rinconada mediante un sistema de bombeo y que correspondió a un consumo anual de  $99.996 \text{ m}^3$

Otros materiales que se incluyeron en el inventario por su importancia para el proceso fueron las alfombras que recuperan el oro fino del canal y las mangueras. Sin embargo, al no disponer la mina de registros sobre la compra de estos, se procedió a modelar ambos insumos tomando como aproximación las cantidades utilizadas en la mina CO-002, pues manejan procesos de explotación similar.

Procesamiento

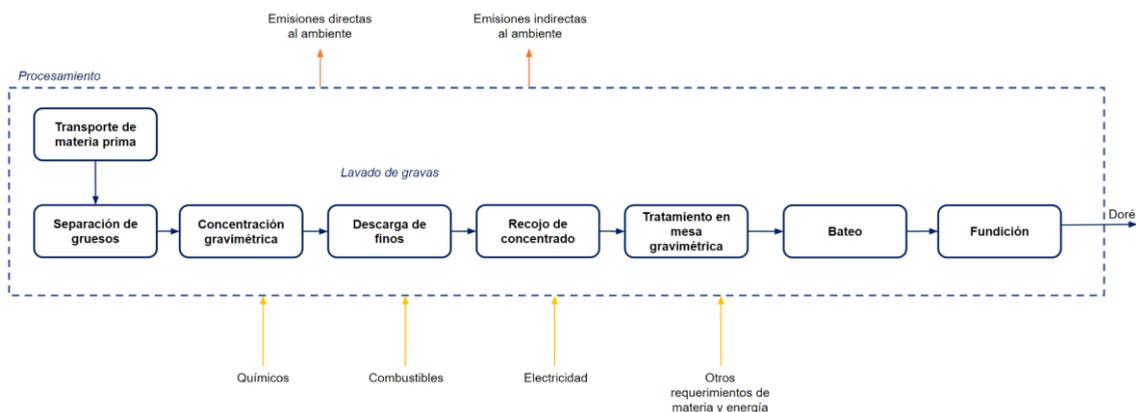


Ilustración 19: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina PE-006

(Fuente: South Pole, 2022)

El procesamiento inicia con el lavado con agua a presión de las gravas auríferas en los dos chutes con los que cuenta la mina: uno para el lavado inicial de las gravas y otro para el relavado de las mismas. Este se deposita en la tolva del primer chute y allí se suministra una corriente de agua a presión de 20 psi, bajo una relación agua y sólidos de 6:1. El agua se obtiene de pozas de almacenamiento donde se recoge agua durante la época húmeda. En las mismas pozas se almacena agua de la laguna La Rinconada mediante un sistema de bombeo. El agua se transporta mediante mangueras de polietileno hasta el chute, donde se eleva la presión del agua utilizando un niple reducido de 2" a 1 1/2".

Esta operación permite desagregar el material morrénico (material glacial no estratificado) y, al crear una suspensión, se facilita el transporte del mineral a través de los equipos. En el segundo chute, el mineral se somete a un segundo lavado, conocido como relavado de material aurífero. En la salida, se encuentra una zaranda fija, que es una parrilla de hierro corrugado, con una apertura de 1/4 de pulgada, que permite la clasificación de los relaves según el tamaño; los relaves gruesos superiores a dicho diámetro se consideran desmontes y se depositan en las respectivas canchas, mientras que los diámetros menores a 1/4 de pulgada ingresan a las canaletas. El material clasificado pasa por la parrilla metálica a una pequeña tolva reforzada con mantas de jebe y luego se transporta hacia una canaleta construida de madera, cuyas medidas son 0,70 m de ancho y 20 m de largo. En este tramo, por diferencia de densidades, el oro se concentra en los "rifles" (trampas metálicas transversales al flujo) donde queda el oro libre junto a las arenas negras. El flujo del mineral continúa por otro canal de madera con alfombras sintéticas donde, por diferencia de densidades, el oro intermedio y parte de finos quedan atrapados en el lecho de las alfombras. Los concentrados procedentes de la "riflería" y alfombras se reconcentran entonces en el mismo canal, se recogen y reducen mediante concentración gravimétrica alcanzando un peso aproximado de 12 kilogramos. A continuación, el oro se recupera en una mesa gravimétrica que, por movimientos de vibración y densidad, separa el oro

de las arenas, llegando por último a la etapa de la fundición, de donde sale un doré con una composición de 97% de oro y 3% de impurezas.

Los relaves generados en el proceso de lavado de material aurífero se clasifican en 1) relaves finos que se transportan mediante un canal a la poza de lodos, y 2) relaves gruesos medios procedentes de la parrilla de clasificación. Unos volquetes recogen estos relaves gruesos y se pasan otra vez por el chute de relavado. Los relaves que se originen se depositan en la construcción de la poza de lodos y se acumulan dentro de ella.

Los materiales utilizados durante el procesamiento fueron consumibles utilizados durante la etapa de laboratorio y la etapa de fundición. Los materiales modelados son el bórax y bicarbonato para la fundición de oro, eliminación de impurezas y su conversión en lingote de oro. Al no disponer de la cantidad utilizada de bicarbonato de sodio, se asumieron cantidades proporcionales a la producción, tomando como referencia datos recogidos de las operaciones de fundición en la mina CO-007. También se contabilizó el uso del oxígeno y se asumió el uso del propano en las etapas de fundición y en laboratorio.

Se incurrió también en un gasto de electricidad, asumiendo electricidad de alto a medio voltaje y un consumo anual aproximado de 45.466,5 kWh calculado a partir de los consumos mensuales suministrados por la mina.

Finalmente se incluyeron dos tipos de residuos: residuos líquidos, en una cantidad de 1.075 galones y relativo a aceites residuales de mantenimiento de filtros, provenientes del mantenimiento de las excavadoras; y residuos sólidos, en una cantidad de 1,08 toneladas. Estos residuos sólidos industriales están conformados por desechos de madera, pedazos de mangueras, chatarras, envases de polietileno, plásticos, jebes, cilindros de PVC y metal, etc.

### **Transporte**

El transporte de materia prima, o materiales necesarios para la operación minera, se considera realizado a través de vehículos de carga desde la ciudad de Lima.

En el caso de la mina PE-006, no se exporta oro. Sin embargo, se ha hecho una suposición para el cálculo de emisiones en el caso de que empezara a exportar. Una posible ruta de transporte sería por carretera desde la ciudad más próxima a la mina hasta el aeropuerto de Lima, a una distancia de aproximadamente 1.400 km. Como en las demás minas, se asume también el mismo transporte aéreo hacia el proceso de refinación. El transporte del producto consta de tres etapas:

1. En la primera etapa del transporte, el producto recorre aproximadamente 1.400 km desde la mina PE-006 hasta la ciudad de Lima. En esta fase, se asume que el recorrido se hace con transporte comercial ligero, como una camioneta,
2. En la segunda etapa, el producto se traslada desde Lima, Perú, hasta el aeropuerto de Zúrich en Suiza, recorriendo aproximadamente 10.700 km en la bodega de un avión.
3. La tercera etapa del recorrido incluye el trayecto desde el aeropuerto de Zúrich hasta las instalaciones para el refinamiento del doré. Dicho trayecto es aproximadamente de 200 km y se realiza a través de camionetas blindadas, los cuales fueron modelados como transporte con un peso bruto vehicular de 9,29 toneladas y un motor EURO 6, estándar para Europa.

Datos de inventario del ciclo de vida

Tabla 14: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina PE-006

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa del ciclo de vida
Agua de río/laguna	60.000	m <sup>3</sup>	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Agua pluvial	99.996	m <sup>3</sup>	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Diésel-ACPM	269.360	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción
Bórax	10.111	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Oxígeno (tanque de 60 kg)	7	unidad	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Propano (tanque de 10 kg)	15	unidad	Ecoinvent v3.8, BEIS 2021	Procesamiento
Propano (tanque de 45 kg)	4	unidad	Ecoinvent v3.8, BEIS 2021	Procesamiento
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	185	kg	Ecoinvent v3.8	Procesamiento
Costal de yute	54	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción
Manguera industrial	166	m	Ecoinvent v3.8	Extracción
Electricidad	45.467	kWh	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Residuos	1076	t	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Transporte de carga: 16-32 toneladas métricas - EURO 3	15.872	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapas del ciclo de vida
Transporte comercial ligero	57	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte con GVW (peso bruto vehicular) de 9,29 toneladas	9	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte aéreo: transporte en bodega - larga distancia	425	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte

(Fuente: South Pole, 2022)

## Evaluación del impacto del ciclo de vida

### Presentación de resultados

Los resultados presentados a continuación consideran las emisiones por unidad funcional en la mina PE-006; sin embargo, debido a la falta de granularidad en los datos para modelar, los resultados de la mina PE-006 se presentan de manera global, sin distinguir entre la etapa de extracción y procesamiento y transporte *downstream* o del producto. Las categorías se mantienen constantes: Electricidad, Químicos, Combustible, Infraestructura, Transporte de insumos, Transporte de producto y Materiales.

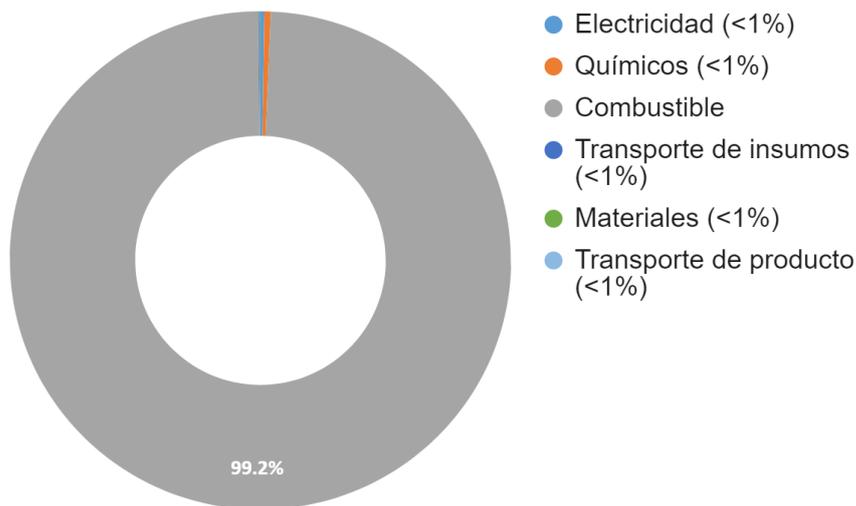


Ilustración 20: Porcentaje de emisiones por categoría, mina PE-006

(Fuente: South Pole, 2022)

Tabla 15: Tabla comparativa de emisiones, mina PE-006

Categoría	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Combustible	90.509	Alcance 1
Transporte de producto (terrestre) [ <i>downstream</i> ]	3	Alcance 1
Electricidad	219	Alcance 2
Infraestructura	0	Alcance 3
Químicos	375	Alcance 3
Transporte de insumos [ <i>upstream</i> ]	69	Alcance 3
Materiales	37	Alcance 3
Transporte de producto (aéreo) [ <i>downstream</i> ]	8	Alcance 3
<b>Total</b>	<b>91.216</b>	

(Fuente: South Pole, 2022)

### Interpretación de resultados

En la Tabla 15 se puede ver el análisis global de la mina PE-006 con un factor de emisión de 91.216 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro producido. El uso del combustible es el que mayor intensidad tuvo en emisiones, con 90.506 kgCO<sub>2</sub>e por kg de oro producido, debido al intenso uso de maquinaria pesada en elevaciones altas con baja presión atmosférica. En el caso de la mina PE-006, el Alcance 1 es el que denota mayor cantidad de emisiones con un total de 90.509 kgCO<sub>2</sub>e, seguido de 489 kgCO<sub>2</sub>e en el Alcance 3 y 219 kgCO<sub>2</sub>e en el Alcance 2.

## 7. Análisis de la huella de carbono en la mina CO-002

### Descripción general de la mina

La mina CO-002 se encuentra ubicada en Colombia. Su contrato de concesión es de 21 años y permite operar en unas 491.421 ha, con un permiso de explotación de oro aluvial en 344.491 ha bajo el cual opera la empresa Rueda Inversiones S.A.S. El tipo de oro que se extrae de esta mina es oro aluvial, siendo su presencia común y extensa cerca del río Magdalena y su quebrada. Según el programa de Trabajos y Obras PTO, la mina tiene una producción anual proyectada de entre 17,3 y 29,4 gramos de oro al año, aunque la producción real ha sido mayor, conducida por la gran demanda global por el mineral y el gran potencial aurífero de la zona.

**Tabla 16: Nombre, ubicación y características generales de la mina para la mina CO-002**

<b>Nombre de la empresa:</b>	CO-002
<b>Clasificación:</b>	Minería en pequeña escala
<b>Ubicación:</b>	Colombia
<b>Descripción de la actividad:</b>	Explotación del oro
<b>Operaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción en las cercanías del cauce del río Magdalena</li> <li>• Clasificación y procesamiento</li> <li>• Laboratorio químico</li> <li>• Fundición</li> </ul>
<b>Inicio de operaciones:</b>	2017
<b>Año de referencia:</b>	2021
<b>Área ocupada:</b>	491,421 ha
<b>Área transformada:</b>	45 x 45 m por celda. Solamente tres celdas en operación al mismo tiempo
<b>Tipo de terreno y vegetación antes de convertirse en sitio minero:</b>	Terreno aluvial destinado al cultivo de arroz
<b>Método de extracción:</b>	Cielo abierto

<b>Nombre de la empresa:</b>	CO-002
<b>Producción anual de oro puro:</b>	Entre 17.280 y 29.376 gramos de oro al año
<b>Composición del doré:</b>	97 %
<b>Ley de cabeza (concentración promedio):</b>	0,106 g/ton
<b>Vida útil restante de acuerdo con la producción actual:</b>	5 años

(Fuente: South Pole, 2022)

## Análisis de inventario del ciclo de vida

### Diagrama general del proceso

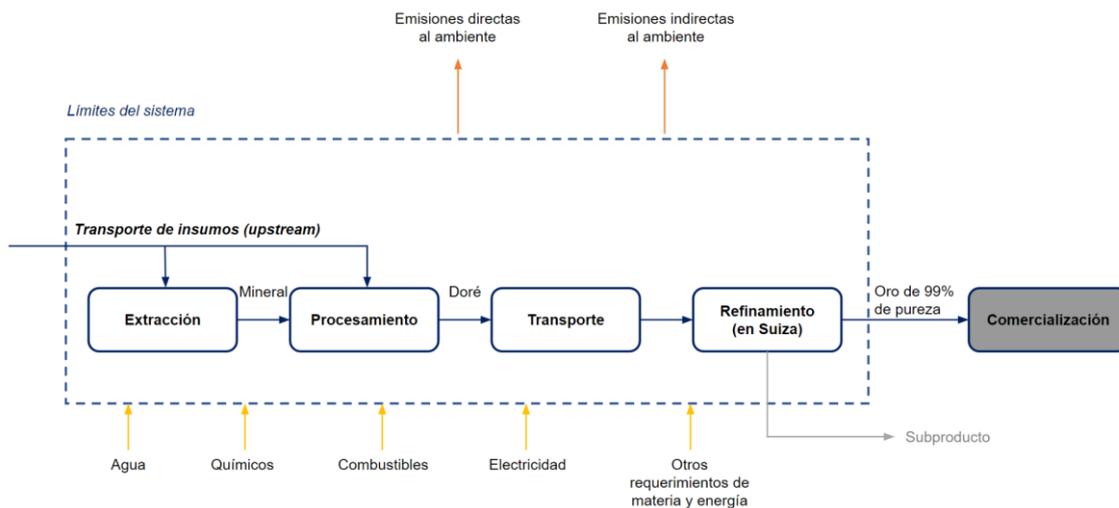
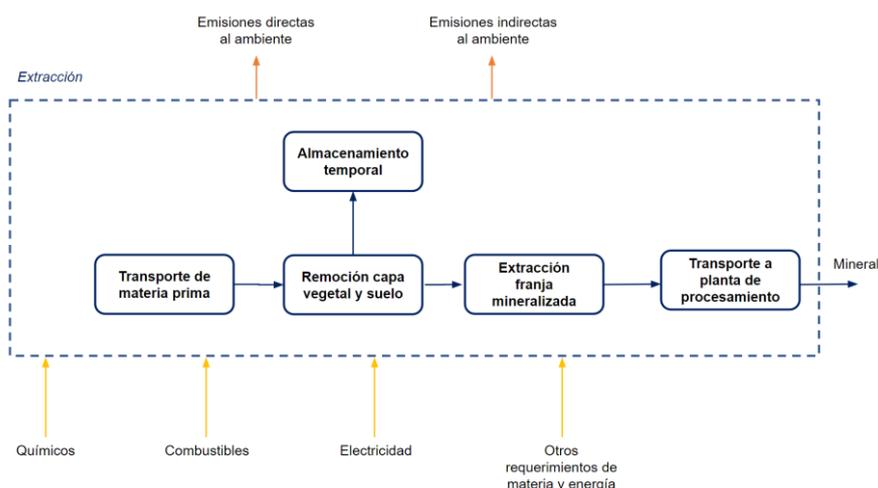


Ilustración 21: Diagrama general del proceso, mina CO-002

(Fuente: South Pole, 2022)

## Descripción de las etapas del ciclo de vida

### Extracción



**Ilustración 22: Etapa de extracción del ciclo de vida de la mina CO-002**

(Fuente: South Pole, 2022)

La extracción queda restringida a las áreas reguladas por la licencia ambiental, incluyendo un *buffer* de protección hídrica (30 metros) del río Magdalena y un añadido de protección de 8 metros desde el *buffer* donde no está permitida la extracción ni arranque de material. Se basa en la utilización de una retroexcavadora que procede a la explotación de las barras (material de arrastre) mediante el sistema de descubiertas, que consiste en el avance unidireccional de un módulo con dos bancos que garantizan la estabilidad de los taludes. Las celdas de explotación deben tener dimensiones de 45 m x 45 m (ancho de excavación por longitud de avance) y con profundidades variables entre 7 y 16 metros.

La extracción conlleva el uso de combustible para operar las retroexcavadoras, *bulldozer* y bombas de agua, entre otras maquinarias de combustión interna. Para el cálculo de emisiones, se utilizó un consumo de diésel de 225.000 galones anuales. También se asumió un consumo de gasolina anual de 281 galones, que se emplea en el motor de la maquinaria que suministra diésel a la maquinaria pesada. Los lubricantes son también una fuente de emisiones importante y se utilizan para el engrase y el mantenimiento adecuado de la maquinaria. El coste de lubricante fue de \$420.715.000 COP en 2021, tipo 15W40/ ISO68 8090 con una composición de 100 % de petróleo crudo parafínico.

En la extracción también hay consumo de agua procedente del río Magdalena en una cantidad de 153.405.648 m<sup>3</sup>. Otros materiales que se modelaron fueron los costales para la recogida de oro fino de la tolva, las mangueras para desplazamiento del agua en la celda de explotación hacia las piscinas de sedimentación y la cañería de ocho pulgadas (8") que conecta la bomba de agua situada en la celda de explotación con la tolva en la planta de lavado.

Procesamiento

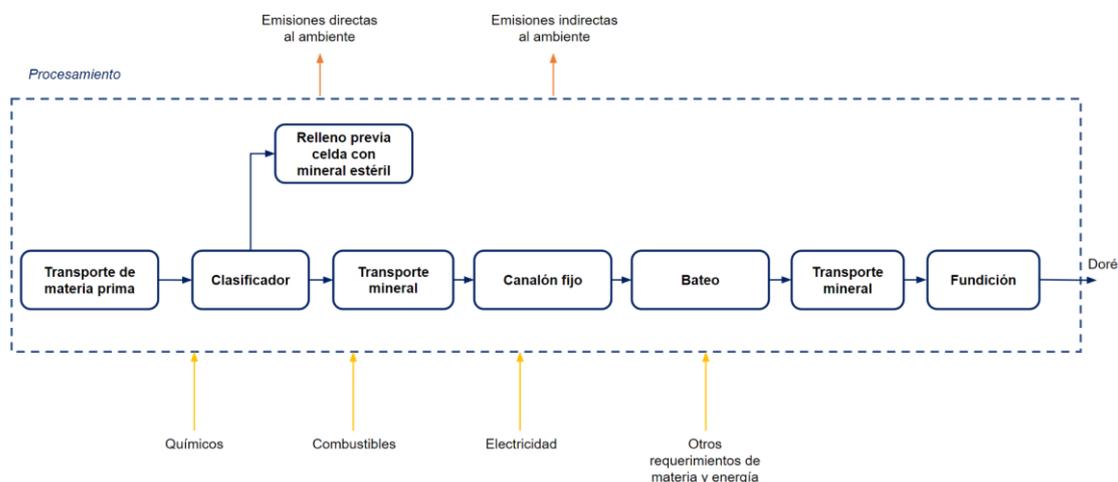


Ilustración 23: Etapa de procesamiento del ciclo de vida de la mina CO-002

(Fuente: South Pole, 2022)

La retroexcavadora procede a descargar el material de la celda en una tolva de la planta de lavado, donde dos operarios se dedican a lavar el material con agua que se bombea desde la celda en explotación aprovechando el nivel freático de la misma. Los materiales se clasifican y se destinan a las colas o a un canalón provisto de sacos de fique o costales y una malla romboidal retenedora de metales preciosos, donde se produce la concentración. Alrededor de un 60 % del material inicial depositado en la tolva por la clasificadora acaba en los costales. Se obtiene un promedio de 8 a 10 tinas de material fino que se transportan en camioneta a una segunda clasificadora que se encuentra ubicada a unos cinco minutos del frente de explotación, cerca de un suministro de agua de pozo. De ahí, para recuperar el oro, el material se reconcentra en un canalón y se limpia mediante batea. El destino final es la fundición, que está localizada en las mismas instalaciones que las oficinas de la empresa Rueda Inversiones. Durante todo el proceso, no se usan amalgamantes ni sustancias químicas contaminantes como el mercurio o el cianuro.

En el frente de explotación solamente se permiten tres celdas activas; la primera en actividad de explotación y beneficio, la segunda como barrera entre el panel de explotación y el panel que conforma la piscina de sedimentación, y la tercera como piscina de sedimentación. Las otras celdas intervenidas previamente están recuperadas, ya que la explotación se hace de forma cíclica; una segunda retroexcavadora recoge los materiales descartados de la tolva y va rellenando la celda previamente explotada. Una vez que la celda se ha rellenado, se activan una segunda retroexcavadora y un *bulldozer* para la recuperación y mejor manejo de la reacomodación morfológica de la cobertura del suelo.

Los materiales utilizados durante el procesamiento fueron consumibles utilizados durante la etapa de laboratorio y la etapa de fundición. Los materiales modelados son el bórax y el bicarbonato para la fundición de oro, eliminación de impurezas y su conversión en lingote de oro. También se contabilizó el uso del oxígeno y propano utilizados también en fundición y en laboratorio. Al no contar con las cantidades utilizadas de estos materiales, se realizó el modelaje con datos extrapolados de la mina PE-006.

## Informe final

De los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) de la mina, se extrajeron datos relativos a residuos sólidos generados y residuos sólidos reciclados, ascendiendo a una cantidad aproximada de 1.117,11 y 193,11 kilogramos de residuos sólidos generados.

El resultado final es un oro con una pureza del 97%. Se estima un 3 % de impurezas que se eliminan durante el proceso de fundición.

Esta etapa del ciclo de vida considera también el uso de transporte terrestre desde la ciudad de Medellín para los insumos de la mina. También se considera el transporte interno del mineral, desde el frente de explotación hasta el punto de concentración por bateo y por último hasta las oficinas de Rueda Inversiones, donde se encuentran el laboratorio y la fundición.

### Transporte

Una vez que el oro está listo para su refinamiento, se transporta en tres fases distintas desde Medellín hasta Suiza, involucrando transporte terrestre desde la mina CO-002 hasta Medellín, transporte aéreo desde Medellín hasta Zúrich, y un recorrido terrestre final hacia las instalaciones donde se lleva a cabo la refinación del oro.

A diferencia del transporte de materia prima a la mina y el transporte interno entre procesos, esta etapa hace referencia al transporte que ocurre del oro desde la salida de la mina CO-002 hasta su entrada al proceso de refinamiento. El transporte se realiza en cinco recorridos:

1. En el primer recorrido, el oro se transporta en camionetas durante aproximadamente 10 km desde la mina hasta el primer punto de entrega. En el modelo se asumió una camioneta comercial ligera.
2. El segundo recorrido se lleva a cabo desde el primer punto de entrega hasta la ciudad de Rionegro, desde donde el oro recorre aproximadamente 350 km a través de transporte aéreo, en la bodega de un avión, hasta Medellín.
3. El tercer recorrido es una distancia de aproximadamente 30 km desde Rionegro a Medellín, donde el producto llega a un centro de distribución en la ciudad. Se considera transporte terrestre y se modeló utilizando una camioneta comercial ligera.
4. El cuarto recorrido se realiza vía aérea, donde se asume que el producto recorre aproximadamente 9.000 km en la bodega de un avión desde Medellín hasta el aeropuerto de Zúrich.
5. El recorrido final es desde el aeropuerto de Zúrich hasta las instalaciones para el refinamiento del oro. El transporte en esta cuarta fase del recorrido se lleva a cabo en camionetas blindadas, con un peso bruto vehicular de 9,29 toneladas y motor EURO 6, estándar en Europa.

### Datos de inventario del ciclo de vida

Tabla 17: Datos de inventario del ciclo de vida para la mina CO-002

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa de ciclo de vida
Diésel - ACPM	225.000	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción y

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa de ciclo de vida
				procesamiento
Gasolina	281	galones	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Aceite de motor	420.715	COP	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Tubería 8" de acero	500	m	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Costal de yute	65	unidad	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Manguera industrial PVC	200	m	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Bórax	12.182	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	223	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Nitrato de sodio (NaNO <sub>3</sub> )	48	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Oxígeno	496	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Propano	23	kg	BEIS 2021	Extracción y procesamiento
Electricidad	54.779	kWh	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Residuos	1.370	kg	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento

## Informe final

Recurso	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión	Etapa de ciclo de vida
Transporte de carga: 16-32 toneladas métricas - EURO 3	454.682	ton-km	Ecoinvent v3.8	Extracción y procesamiento
Transporte Transporte comercial ligero	2	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte aéreo: transporte en bodega - corta distancia	17	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte aéreo: transporte en bodega - larga distancia	434	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte
Transporte con GVW de 9,29 toneladasde EURO 6	11	ton-km	Ecoinvent v3.8	Transporte

(Fuente: South Pole, 2022)

## Evaluación del impacto del ciclo de vida

### Presentación de resultados

Al igual que para la mina PE-006, los resultados para la mina CO-002 presentados a continuación consideran las emisiones por unidad funcional. Sin embargo, debido a la falta de granularidad en los datos para modelar, los resultados se presentan de manera global, sin distinguir entre la etapa de extracción y procesamiento. Las categorías se mantienen constantes: Electricidad, Químicos, Combustible, Transporte de insumos, y Materiales.

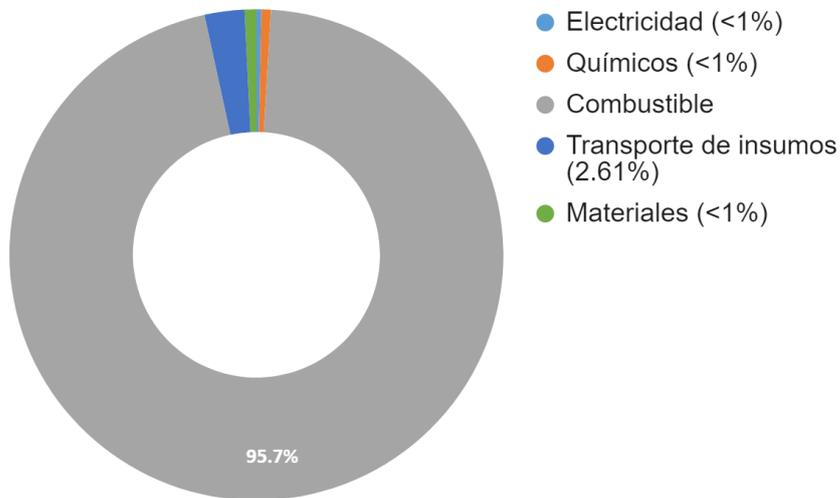


Ilustración 24: Porcentaje de emisiones por categoría, mina CO-002

(Fuente: South Pole, 2022)

Tabla 18: Tabla comparativa de emisiones, mina CO-002

Categoría	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Combustible	59.748	Alcance 1
Transporte de producto (terrestre) [downstream]	<1	Alcance 1
Electricidad	197	Alcance 2
Infraestructura	0	Alcance 3
Químicos	387	Alcance 3
Infraestructura	0	Alcance 3
Transporte de insumos [upstream]	1.631	Alcance 3

Categoría	Total (kgCO <sub>2</sub> e)	Alcance
Materiales	485	Alcance 3
Transporte de producto (aéreo) [downstream]	7	Alcance 3
<b>Total</b>	<b>62.455</b>	

(Fuente: South Pole, 2022)

### Interpretación de los resultados

Los resultados muestran un factor de emisión de 62.455 kgCO<sub>2</sub>e por kilogramo de oro producido en la mina CO-002. La mayor parte de estas emisiones provienen del uso de combustibles, con un 95,7 % de las emisiones, seguido del transporte de insumos, con un 2,61 % del total. El uso de combustibles se explica por el tipo de minería, demandando bastante uso de maquinaria pesada; además, la mina CO-002 restaura los suelos excavados en paralelo con la minería, lo que incrementa el consumo de combustible significativamente. Asimismo, la mina utiliza gasolina para la generación de electricidad. Buscar soluciones para depender menos de esta fuente de electricidad podría ser una alternativa para reducir emisiones. El Alcance 1 tiene el valor más alto en emisiones, con 59.748 kgCO<sub>2</sub>e, seguido del Alcance 3, con 2.510 kgCO<sub>2</sub>e. El Alcance 2 solo contribuye con 197 kgCO<sub>2</sub>e, indicando un bajo consumo de electricidad, lo que representa un área de oportunidad para buscar mayor consumo de la red eléctrica y tener acceso a otras medidas de reducción de emisiones.

### Análisis de sensibilidad

En el análisis de sensibilidad se consideró cambiar la fuente de emisión del Alcance 2 para todas las minas. Por lo tanto, el análisis consiste en la comparación de dos escenarios por mina, el escenario de electricidad convencional (EC) y el escenario de electricidad a base de Certificados de Energía Limpia Internacional (CEL-I). El escenario EC representa el *estatus quo*, con los resultados ya presentados; y el escenario CEL-I, sustituye el consumo de electricidad suministrada por la red eléctrica por energías renovables, a través de la compra de CEL-I. La Ilustración 17 muestra los resultados obtenidos por mina y alcance.

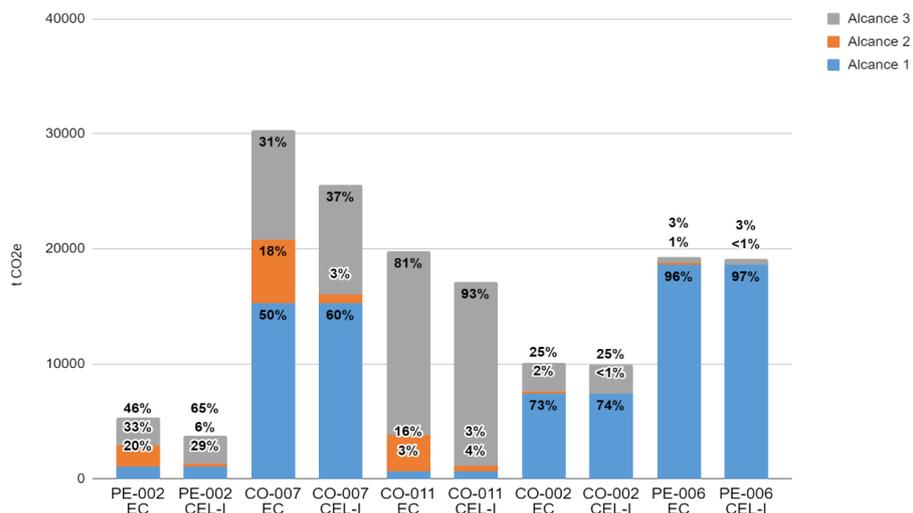


Ilustración 25: Comparativa de escenarios EC y CEL-I

Tabla 19: Porcentajes de reducción de emisiones CEL-I vs. EC

Escenario CEL-I	Porcentaje de reducción de emisiones respecto al escenario EC
PE-002 CEL-I	29,1 %
CO-007 CEL-I	15,7 %
CO-011 CEL-I	13,6 %
CO-002 CEL-I	1,7 %
PE-006 CEL-I	1 %

(Fuente: South Pole, 2022)

La Ilustración 25 muestra que, en general, el escenario CEL-I representa una reducción de emisiones en todas las minas, pero los beneficios varían entre ellas de manera significativa. Las minas que tuvieron la mayor reducción de emisiones fueron la mina PE-002 y la mina CO-007, con un 29,1 % y un 15,7 % de reducción respectivamente. La mina CO-011, alcanzó una reducción del 13,6 %. Estas serían reducciones considerables a la huella de carbono por kg de oro producido de la mina PE-002, la mina CO-007 y la mina CO-011, y dado que los CEL-Is son relativamente sencillos de obtener en comparación con otras formas de mitigación, parecen ser una buena alternativa a corto plazo para la reducción de emisiones.

Las minas que tuvieron la menor reducción de emisiones fueron la mina PE-006 y la mina CO-002, con reducciones del 1 % y el 1,7 % respectivamente. Esto se debe a que tanto la mina PE-006 como la mina CO-002 tienen bajos consumos de electricidad de la red eléctrica y dependen más de la quema de combustibles para obtener energía. Sin embargo, si se buscan alternativas para utilizar más la red eléctrica y comprar CEL-I, la mina PE-006 y la mina CO-002 podrían tener reducciones considerables en su huella de carbono por kg de oro producido, al igual que el resto de las minas.

Cabe señalar que cualquier cambio que resulte en la reducción de consumo de electricidad favorece también la reducción de emisiones del Alcance 2 en todas las minas. La instalación de iluminación a base de paneles solares, la sustitución de focos incandescentes por tecnología LED y baterías industriales con interruptor de transferencia automática (ITA) son solo algunos ejemplos de medidas que tendrían reducciones considerables. Actualmente, la mina PE-002 cuenta con un piloto de sustitución de luminarias convencionales por iluminación LED con paneles solares. Esta iniciativa podría utilizarse para todas las minas de este estudio y evaluar su implementación a gran escala.

### Análisis comparativo entre las diferentes minas

El análisis comparativo entre minas comprende dos secciones: comparación de huella total por kg de oro y comparación según los Alcances 1, 2 y 3 de acuerdo con el Estándar de Contabilidad y Reporte del Ciclo de Vida de un Producto (Greenhouse Gas Protocol) y de acuerdo con la metodología empleada por el World Gold Council. El objetivo de este análisis comparativo es encontrar cuáles son las causas más comunes de fuentes de emisión entre las minas.

Sin embargo, es importante recalcar que las particularidades en la tipología de cada mina no permiten llevar a cabo una comparación concluyente. Por tanto, este análisis comparativo no debe emplearse para concluir qué operaciones mineras tienen el mejor impacto ambiental ni para sugerir o recomendar unos procesos operativos sobre otros.

### Comparación de la huella total por kg de oro

La Tabla 20 muestra un resumen del total de las emisiones de las cinco minas objeto de estudio. La mina con mayor impacto en la huella de carbono fue la mina PE-006 con 91.214 kgCO<sub>2e</sub>/kg de oro, seguida de la mina CO-002 con 62.455 kgCO<sub>2e</sub>/kg de oro, y la mina CO-007 con 15.753 kgCO<sub>2e</sub>/kg de oro.

Tabla 20: Resumen de emisiones por mina

Mina	Emisiones de extracción (kgCO <sub>2</sub> e/kg oro)	Emisiones de procesamiento (kgCO <sub>2</sub> e/kg oro)	Total (kgCO <sub>2</sub> e/kg oro)	Ley de oro geológico	Producción oro 2021 (kg)
PE-002	3.646	1.708	5.355	14,24 g/ton	1.097
CO-007	14.644	15.753	30.398	4,5 g/ton	187,97
CO-011	10.675	4.454	15.128	6-7 g/ton	15,16
PE-006	NA	NA	91.214	0,14 g/ton	39,84
CO-002	NA	NA	62.455	0,106 g/ton	48

(Fuente: South Pole, 2022)

Es importante poner de relieve que la producción anual de oro y la ley del oro promedio de yacimientos minados son decisivos en el cálculo de la huella total de carbono; un claro ejemplo es la huella obtenida en la mina PE-002, la cual obtuvo la menor huella, con 5.335 kgCO<sub>2</sub>e/kg de oro. La mina PE-002 no solo posee una ley de cabeza de 14,24 g/ton, sino además una producción total de oro de 1.097 kg en el 2021. Por otro lado, la mina PE-002 es la única mina que utiliza el método de procesamiento con carbón activado, pudiendo ser un factor influyente sobre el cálculo total de emisiones. No obstante, no se han encontrado estudios que prueben que el carbón activado tenga menor impacto en la huella de carbono que otras tecnologías y se recomienda una mayor investigación al respecto. Por otra parte, se destaca que el método de extracción no fue tan relevante para los resultados de la huella de carbono. Las minas de oro aluvial como PE-006 y CO-002 tienen una extracción y procesamiento más sencillos que las otras tres minas al tratarse de explotaciones de yacimiento de oro aluvial. Sin embargo, estas prácticas no se tradujeron en menos emisiones, debido a su uso intensivo de combustibles en la extracción y desplazamiento de material. De hecho, se puede afirmar que las minas a cielo abierto obtuvieron la mayoría de sus emisiones del uso de combustibles y las minas subterráneas del uso de materiales y electricidad. Las minas a cielo abierto fueron las que más emisiones incurrieron, siendo PE-006 la mina con mayor número de emisiones de todas, con 91.214 kgCO<sub>2</sub>e/kg de oro, seguida de CO-002 con 62.455 kgCO<sub>2</sub>e/kg de oro.

### Comparación con los resultados obtenidos por el World Gold Council

El objetivo de este estudio es la medición de las emisiones de GEI a partir de un estudio de la huella de carbono de producto. Sin embargo, se puede hacer una comparación metodológica con el Estándar de Reporte y Contabilidad de Ciclo de Vida de un Producto para conocer cómo sería la distribución de emisiones según los Alcances 1, 2 y 3. El objetivo de este ejercicio es la comparación con los resultados obtenidos en los estudios diligenciados por el World Gold Council por ser objeto de referencia en el sector de la minería de oro. No obstante, es importante reforzar

que se trata de metodologías distintas con consideraciones y supuestos diferentes, y que dichas comparaciones son limitadas y deben ser tomadas con cautela.

La Ilustración 26 muestra la distribución de emisiones de acuerdo con el Estándar de Contabilidad de Ciclo de Vida de un producto. Según el estándar, las emisiones de Alcance 1 y 2 son las que considerarían todas las emisiones directas e indirectas llevadas a cabo dentro de los límites operacionales de las minas en relación con la extracción y procesamiento del oro, mientras que las emisiones de Alcance 3 que ocurren aguas arriba y aguas abajo caen fuera de los límites de propiedad y operacionales de las minas.



**Ilustración 26: Distribución de emisiones según Alcances. Estándar de Contabilidad de Ciclo de Vida de un producto**

(Fuente: South Pole, 2022)

Por tanto, las emisiones directas de Alcance 1 serían las correspondientes al combustible utilizado dentro de la mina directamente relacionado con la extracción y procesamiento del oro. Un ejemplo sería el diésel de la maquinaria utilizada, como el combustible utilizado en generadores eléctricos. Este Alcance también cubriría el transporte dentro de la propiedad de la mina, o el transporte hecho por vehículos que son propiedad de la mina. Por otro lado, las emisiones de Alcance 2 cubrirían las emisiones indirectas asociadas con el uso de la electricidad comprada de la red eléctrica.

El Alcance 3 se divide en la categorización de las emisiones aguas arriba o aguas abajo. El Alcance 3 aguas arriba incluye la producción y adquisición de materiales, y el transporte de estos a las minas por terceros ajenos fuera de la propiedad o control operacional en la mina. El Alcance 3 aguas abajo incluye el transporte del oro final de la mina a su destino final por terceros ajenos fuera de la propiedad o control operacional en la mina y el refinamiento.

En este estudio se asumió que el transporte de materiales para las cinco minas (Alcance 3 aguas arriba) se hizo por terceros y, por tanto, no caería como operaciones directas dentro del Alcance 1. Este supuesto se justificó teniendo en cuenta que las cinco minas se encuentran en zonas ubicadas en áreas de gran concentración minera, donde todas las minas usan proveedores similares para acopio de materiales. En cuanto a las emisiones bajo el Alcance 3 aguas abajo, consideramos que el transporte hasta el destino final en Suiza, lo realizan terceros, excepto la

primera parte del trayecto para las minas CO-011, C0-002 y la mina PE-006, distancia que se cubre con transporte propio de la mina y cuyas emisiones, por tanto, caen dentro del Alcance 1. Es preciso volver a indicar que la mina PE-006 no exporta oro, pero se hizo la suposición de que exporta como las otras minas, a efectos de comparación. Para el refinamiento se consideraron los datos proporcionados por una de las principales refinerías compradoras de oro de las minas. Las emisiones atribuibles a la refinación del oro constituyen 0,185 kgCO<sub>2</sub>e/kg de oro producido.

Para nuestra comparación con los resultados obtenidos del World Gold Council, tuvimos en cuenta dos reportes comisionados en años distintos y para los que se empleó distinta metodología. En junio del 2018, el World Gold Council publicó un estudio donde el cálculo de emisiones se basaba en una muestra de 80 minas en 2017, representando 880 toneladas de oro producido, y en una muestra de 172 toneladas de oro producido de 17 minas en el 2018 (WGC, 2018); solo se tuvo en cuenta la minería de oro a gran escala, excluyendo el sector MAPE. La Tabla 21 muestra las emisiones que se tuvieron en cuenta a la hora de calcular los Alcances 1 y 2 para este estudio.

**Tabla 21: Alcances 1, 2 y 3 de emisiones de GEI incluidas en el reporte de World Gold Council (2018 y 2019)**

Alcance 1 (junio de 2018)	Alcance 2 (junio de 2018)	Alcance 3 (octubre de 2019)
Emisiones procedentes de actividades de extracción y procesamiento (molienda, concentración, fundición), y refinamiento	Emisiones de plantas de energía generadoras de energía y comprada por la organización	<p><u>Aguas arriba</u></p> <p>Emisiones de terceros transportistas de materiales comprados o producto final</p> <p><u>Aguas abajo</u></p> <p>Emisiones de bienes capitales</p> <p>Emisiones relacionadas con viajes de negocios y de empleados</p>

(Fuente: South Pole basado en compilación de información de World Gold Council, 2018 y 2019)

De acuerdo con dicho reporte de junio del 2018, las emisiones por kg de oro producido durante el año 2018 atribuibles al Alcance 1 fueron de 17.951 tCO<sub>2</sub>e/t de oro, mientras que el Alcance 2 registró unas emisiones de 14.738 tCO<sub>2</sub>e/t de oro en el mismo año, obteniendo un total de 32.689 tCO<sub>2</sub>e/t, sin emisiones de Alcance 3 incluidas.

Para el reporte comisionado en octubre del 2019, el World Gold Council calculó los Alcances 1 y 2 basándose en el valor económico del oro. Dicho estudio incluye también estimaciones de Alcance 3 (aguas arriba y aguas abajo). Según la Tabla 21, el Alcance 3 aguas arriba incluye emisiones de terceros para el transporte de materiales comprados o producto final, emisiones de bienes capitales y emisiones relacionadas con viajes de negocios y de empleados. El Alcance 3 aguas abajo incluye consumo del oro en joyería, tecnología e inversiones. Según estos supuestos, el Alcance 1 obtuvo unas emisiones de 13.197 tCO<sub>2</sub>e/t de oro y unas emisiones de 15.931 tCO<sub>2</sub>e/t de oro para el Alcance 2. El Alcance 3 aguas arriba tuvo unas emisiones de 7.287 tCO<sub>2</sub>e/t, mientras que el Alcance 3 aguas abajo, representó unas emisiones de 374,46 tCO<sub>2</sub>e/t. El total de las emisiones calculadas para todos los alcances de acuerdo con el reporte de octubre del 2019 fue de 36.789<sup>3</sup> tCO<sub>2</sub>e/t.

**Tabla 22: Tabla comparativa de alcances entre minas y según los resultados obtenidos por el World Gold Council (junio de 2018 y octubre de 2019)**

Alcances	PE-002 kgCO <sub>2</sub> e/ kg de oro producid o	CO-007 kgCO <sub>2</sub> e/kg de oro producido	CO-011 kgCO <sub>2</sub> e/kg de oro producido	PE-006 kgCO <sub>2</sub> e/k g de oro producido	CO-002 kgCO <sub>2</sub> e/k g de oro producido	World Gold Council tCO <sub>2</sub> e/t de oro producido
Alcance 1	699	13.265	58	90.509	59.748	13.197 - 17.951
Alcance 2	1.786	5.560	3.140	219	197	14.738 - 15.931
Alcance 3 <i>Upstream</i>	2.860	11.550	11.923	481	2.503	7.287
Alcance 3 <i>Downstream</i>	8	23	8,2	9	7,2	374,5
Total	5.355	30.398	15.129	91.217	62.455	32.689 - 36.789

Fuente: South Pole y datos compilados de World Gold Council (junio de 2018 y octubre de 2019)

Se concluye que las emisiones calculadas por el WGC son más altas que las emisiones calculadas para las minas PE-002, CO-007 y CO-011, mientras que son más bajas que para las minas a cielo abierto de oro aluvial, es decir, las minas PE-006 y CO-002.

<sup>3</sup> Según el reporte, el total de emisiones fue de 36.793 tCO<sub>2</sub>e/t, incluyendo emisiones correspondientes al reciclaje de oro que no se incluyeron en este estudio.

En el Alcance 1, todas las minas reportaron menos emisiones que el WGC, excepto la mina CO-002 y la mina PE-006, debido al uso intensivo de combustible en sus operaciones. En el caso de la mina CO-007, su valor de 13.265 kgCO<sub>2</sub>eq/kg cae dentro del intervalo de WGC. En cuanto al Alcance 2, todas las minas resultaron con emisiones menores que los valores de WGC. En el Alcance 3 *upstream*, la mina CO-007 y la mina CO-011 reportaron más emisiones que WGC, probablemente porque en este estudio se tuvieron en cuenta las emisiones procedentes de la producción de materiales (incluyendo dinamita) y químicos.

Finalmente, las emisiones de Alcance 3 *downstream* reportadas por el WGC son mayores que las calculadas en las minas, probablemente porque el WGC incluye en su análisis emisiones de bienes capitales y emisiones relacionadas con viajes de negocios y de empleados, que no se tuvieron en cuenta en este informe. Sin perjuicio de los anterior, el WGC no tuvo en cuenta el transporte desde la mina hasta la refinería y su refinación, emisiones que sí se tuvieron en cuenta en el presente estudio.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

Las HCP calculadas para las minas estudiadas varían significativamente, con un rango de 5.335 kgCO<sub>2</sub>e a 91.216 kgCO<sub>2</sub>e por kilogramo de oro producido. Los factores que influyeron en los resultados de las emisiones de GEI fueron la ley de oro, cómo el oro se encuentra en su estado natural (oro aluvial u oro en veta), el nivel de producción, la tecnología usada, la concentración del oro y su pureza, la tipología de la mina y la ubicación geográfica.

En líneas generales se identificaron dos importantes fuentes de emisión por tipología general de mina (a cielo abierto o subterránea). La fuente de emisión más importante en minas a cielo abierto es el uso de combustibles, representando hasta el 99 % de las emisiones, en el caso de la mina PE-006. Esto se debe a que se usa más maquinaria para la extracción del material, en comparación con minas subterráneas, lo que representa un reto para la reducción de la HCP en minas a cielo abierto. Las mayores fuentes de emisión en minas subterráneas fueron diferentes. En la etapa de extracción, la categoría de mayor impacto en la mina PE-002 fue la electricidad, con 39,3 % y en la mina CO-011 fueron los materiales, con 76,4 %. Ambas tuvieron beneficios considerables en el análisis de sensibilidad para reducir las emisiones del Alcance 2 con la compra de CEL-I, donde la mina PE-002 y la mina CO-011 tuvieron reducciones del 29,1 % y el 13,6 % en su HCP respectivamente. La mina CO-002 y la mina PE-006 no se beneficiaron mucho del uso de CEL-I, ya que su sistema de generación no proviene de la red eléctrica, si no de sistemas de generación eléctricos a base de diésel.

La falta de granularidad en los datos del inventario impidió hacer un análisis profundo del impacto del transporte en procesos de extracción y procesamiento en cada mina. No obstante, las minas con las emisiones más altas de transporte fueron CO-011 en el *upstream*, es decir en el suministro de materias primas para las operaciones de la mina. En el caso de transporte *downstream* fue CO-007, la mina con más emisiones debido al uso del helicóptero. No es posible atribuir estas emisiones a la tipología de mina ya que las emisiones de transporte dependen en gran medida de la posición geográfica y del medio de transporte. Sin embargo, se puede señalar que las minas con menos insumos, normalmente las minas a cielo abierto tuvieron los valores más bajos en emisiones de transporte.

De acuerdo con el análisis de alcances según el Estándar de Contabilidad de Ciclo de Vida de un producto, todas las minas obtuvieron unos valores de emisiones más bajos que los valores obtenidos por los reportes de WGC de junio de 2018 y octubre de 2019.

### Recomendaciones de reducción

Como se ha indicado anteriormente, son numerosos los factores que influyen en la magnitud de la HCP en las minas estudiadas, incluyendo las fuentes de energía empleadas, la ley del oro, la tipología de la mina, entre otros. Las siguientes recomendaciones se formulan desde un enfoque general con base en los resultados obtenidos de la HCP respectiva de cada mina. No obstante, es importante aclarar que un mayor nivel de detalle en las recomendaciones solo es posible realizando estudios y análisis más específicos en términos de viabilidad técnica y económica, y costo de oportunidad.

La Tabla 23 presenta las medidas de reducción de emisiones formuladas para las diferentes minas, a decir: fomento de compra de CEL-Is para reducir las emisiones del Alcance 2, reducción del uso de diésel por medio de baterías industriales, búsqueda de alternativas de biocombustibles e hidrógeno como combustible de baja emisión para reducir la huella de carbono, y optimización de los esquemas de transporte para reducir las distancias recorridas.

**Tabla 23: Posibles medidas de reducción según la mina**

Medidas de reducción	PE-002	CO-007	CO-011	PE-006	CO-002
Tipología de mina	Sub., oro en veta	Cielo abierto, oro en veta	Sub, oro en veta	Cielo abierto, aluvial	Cielo abierto, aluvial
CEL-I	X	X	X		
Desarrollo de proyectos de energía solar y eólica	X	X	X	X	X
Estrategias de reducción de uso energético	X	X	X	X	X
Batería industrial				X	X
Biocombustibles/hidrógeno	X	X	X	X	X

Medidas de reducción	PE-002	CO-007	CO-011	PE-006	CO-002
Tipología de mina	Sub., oro en veta	Cielo abierto, oro en veta	Sub, oro en veta	Cielo abierto, aluvial	Cielo abierto, aluvial
Reducción de distancias de transporte	X				
Implementación/fortalecimiento de mejores prácticas mineras	X	X	X	X	X

(Fuente: South Pole, 2022)

Como se observó en el análisis de sensibilidad, la compra de CEL-I ayudaría a la reducción de emisiones en todas las minas con un consumo alto de electricidad, y puede ser la primera estrategia de reducción a corto plazo, ya que solo requeriría involucrarse en el mercado de CEL de Colombia y Perú. Sin embargo, la mina CO-002 y la mina PE-006 no se beneficiarían significativamente de esta alternativa, ya que su mayor foco de emisiones se encuentra en el uso intensivo de combustibles. En su caso, se podrían buscar alternativas con procesos y maquinaria eléctrica para tener acceso a reducciones a base de CEL-I.

El reemplazo de motores de combustión interna por uso de baterías industriales para electricidad de respaldo podría sustituir o reducir el uso de generadores de diésel en la mina CO-002 y la mina PE-006. Al ser este es un mercado amplio y en plena expansión, se recomienda hacer un estudio detallado de las distintas baterías de respaldo para encontrar la opción que más se ajuste a las necesidades de cada mina. Dicho estudio puede comprender alternativas a las baterías que también presenten la facilidad de transportarse, dada la naturaleza de las operaciones de extracción en términos de desplazamiento. El uso de estas baterías o sus alternativas, junto con la compra de CEL-I, supondría el mayor foco de reducción para ambas minas. La alternativa a largo plazo podría ser la del desarrollo de proyectos de energía solar y eólica en las minas. Aunque esta medida de reducción no sea económicamente viable para minas con una vida útil corta, se recomendaría estudiar la posibilidad de la creación de un sistema de arrendamiento de paneles solares portátiles en el área y que pudieran utilizarse consecutivamente por varias minas.

También es importante mencionar la implementación de estrategias de reducción de uso energético. Aunque durante la visita de campo se pudo apreciar la implementación de diversas estrategias de reducción, todavía existe una amplia oportunidad para seguir explorando opciones de optimización energética de las operaciones, en particular en las minas subterráneas donde hay un mayor consumo de electricidad. Dichas estrategias pueden enfocarse en implementar sistemas de ventilación y enfriamiento por demanda de las minas, optimizar los esquemas de transporte tanto de las materias primas como de los productos, y en optimizar los parámetros de operación de los procesos que requieren alto consumo energético, tales como la molienda y

trituration del mineral. Estas estrategias de reducción se pueden volver más efectivas con un seguimiento adecuado del inventario de emisiones desarrollado en el presente estudio.

Por último, sustituir el diésel y el gas natural convencional por biodiésel y biogás también resultaría en la reducción de la HCP, especialmente en las minas con el mayor consumo de combustibles. El hidrógeno como fuente de energía limpia e independiente está ganando cada vez mayor importancia en aquellas actividades económicas que se encuentran en zonas aisladas con acceso limitado a proveedores de energía, como es la minería. La posibilidad de reemplazar combustibles con hidrógeno producido en la mina a través de fuentes de energía renovables y almacenarlo en baterías para su consumo a voluntad sería una condición ideal, no solo desde el punto de vista de la reducción de emisiones, sino también desde el punto de vista de la seguridad energética de la mina y la continuación de su actividad minera. En todo caso, se recomienda hacer un estudio sobre su viabilidad en las zonas de interés.

En cuanto a la implementación y fortalecimiento de mejores prácticas mineras, estas deben enfocarse en optimizar y hacer más eficiente el uso de los recursos. En términos de consumo de energía eléctrica, las mejores prácticas dependen del tipo de mina y de las diferentes etapas, y comprenden un amplio rango de aspectos a gestionar. Para minas que operan a cielo abierto (como es el caso de CO-007, PE-006 y CO-002), es importante ajustar los parámetros de los equipos de perforación a un valor que optimice el rendimiento por unidad de energía consumida, así como monitorear el estado del equipo y controlar el nivel de desgaste. Adicionalmente, si se lleva a cabo un plan claro de perforación que contemple escenarios de sobre perforación, será posible reducir costos asociados al consumo de recursos en esta etapa. Por su parte, para minas subterráneas, es importante optimizar la operación de las bandas transportadoras, contando con un programa de inspección y mantenimiento preventivo, así como optimizar los piques teniendo en cuenta el diseño de las cucharas, dependiendo del caso. La selección entre las opciones anteriores debe basarse en un estudio comparativo de costo de capital específico para cada mina.

En todos los casos, se recomienda realizar mantenimiento adecuado de las carreteras para disminuir la resistencia a la rodadura y optimizar así el uso del combustible y la vida útil del vehículo. Asimismo, llevar a cabo revisiones periódicas y mantenimientos de todos los equipos, incluyendo los motores de combustión, las bombas de agua. Es importante realizar un análisis de la organización interna de la mina en términos de ubicación y distribución de equipos, con el fin de identificar si es posible optimizar el consumo de energía y de combustible, por ejemplo, instalando las estaciones de carga de combustible lo más cerca a los lugares de operación.

Por último, es aconsejable un mayor control sobre la recolección de datos. Cabe señalar que, por falta de información y granularidad, las emisiones de la mina CO-002 y de la mina PE-006 se tuvieron que caracterizar en un solo proceso, y varios valores del inventario de la mina CO-011 tuvieron que extrapolarse de otras minas, lo cual incrementa considerablemente la incertidumbre asociada a la HCP calculada. La continuación y mejoramiento de los inventarios de emisiones no sólo contribuye a la contabilidad y reducción de las emisiones de GEI, sino también a la productividad y eficiencia de los procesos mineros, al cumplimiento de las leyes ambientales nacionales e internacionales, y a la contribución social y personal en la mitigación de los efectos del cambio climático.

En general se tratan de minas con unas características diferentes, por lo que sería necesario llevar a cabo un análisis de factibilidad para cada mina, para poder emitir recomendaciones más específicas. Dicho análisis de factibilidad con un mayor control sobre la recolección de datos podría sentar las bases de un marco de control y reducción de emisiones adaptado a las circunstancias operativas y necesidades de la mina. Para ello en el capítulo siguiente se incluyen el procedimiento para la ejecución y seguimiento de un inventario adecuado de emisiones.

## 9. Marco de actuación para evaluar el impacto sobre el cambio climático.

A continuación, se describe un marco estándar de evaluación del impacto del cambio climático en minas. El objetivo radica en dotar a las minas de la capacidad para iniciar sus propios inventarios de gases de efecto invernadero, poder cuantificarlos y empezar a implementar estrategias de intervención para la reducción de sus emisiones.

La siguiente tabla presenta de forma general los requerimientos de información que las minas deben recolectar y monitorear con el fin de tener las bases para la estimación de su huella de carbono. Adicionalmente, en el Anexo II se suministra un formato que pretende brindar a las minas un mayor nivel de detalle sobre los datos que requieren para el cálculo de su huella, y puede servir como herramienta para la recolección sistemática de la información que facilite el análisis periódico de la calidad de los datos y su variación en el tiempo. La tabla se divide en dos tipos de requerimientos de información; calidad mínima que supone la información mínima necesaria para desarrollar un inventario de calidad, y la calidad máxima, el cual supone una contabilidad mucho más rigurosa, que permite identificar de forma desagregada los consumos unitarios por tipo de proceso, hacer proyecciones de consumo basados en históricos y contabilizar los GEI directos e indirectos.

**Tabla 24: Generalidades de requerimientos de información para la cuantificación de impactos sobre el cambio climático**

Categoría de emisión	Descripción	Requerimientos de información		Recomendaciones generales
Electricidad	Emisiones asociadas al consumo de electricidad necesario para el desarrollo de las operaciones mineras, tanto de extracción como de beneficio.	Calidad mínima	Consumo mensual de electricidad (kWh) proveniente de la red	Instalar medidores de electricidad por cada una de las instalaciones (ej. planta de beneficio/planta de filtrado, etc...) y saber el origen de esta electricidad (red o renovable).
		Calidad ideal	Consumo segregado por equipo o, al menos, por etapa de operación, especificando la fuente (red vs. renovable)	
Materiales	Emisiones asociadas a la producción de los suministros requeridos para el desarrollo de las	Calidad mínima	Consumo mensual de materiales en la unidad correspondiente (número de ítems, kg, m, gal, L, etc.)	Mantener registro de la compra total de materiales con su descripción, composición,

Categoría de emisión	Descripción	Requerimientos de información		Recomendaciones generales
	operaciones mineras, tanto de extracción como de beneficio.	Calidad ideal	Consumo segregado por etapa de operación y especificaciones de los materiales (fabricante, composición, dimensiones - si aplica, etc.)	características, peso (o volumen) y tener identificada la cantidad y en qué etapas son utilizados. Es de principal interés tener toda la información relacionada al uso de explosivos.
Combustible	Emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles, requeridos para el desarrollo de las operaciones mineras, incluyendo la generación de energía en sitio, la operación de maquinaria y actividades de transporte dentro de los límites de las etapas de extracción y de beneficio.	Calidad mínima	Consumo mensual de energéticos en la unidad correspondiente (gal, L, m3)	Mantener registro de la compra total de combustibles (volumen y tipo), además de la etapa y la máquina/maquinaria para lo que fue utilizado (cantidad en cada proceso individual).
		Calidad ideal	Consumo, segregado por equipo o, al menos, por etapa de operación	
Infraestructura	Emisiones asociadas a la construcción de infraestructura requerida para el desarrollo de las operaciones mineras.	Calidad mínima	Extensión (km) de la infraestructura (camino y carreteras) construida en los últimos 20 años para la mina	A partir del equipo de compras, mantener registro de la compra de materiales con peso y características importantes.
		Calidad ideal	Detalle de la infraestructura creada en los últimos 20 años, incluyendo carreteras y caminos, así como las facilidades e instalaciones creadas para el beneficio del mineral.	

Categoría de emisión	Descripción	Requerimientos de información		Recomendaciones generales
Transporte de insumos	Emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles para el transporte de materias primas y suministros requeridos para el desarrollo de las operaciones mineras.	Calidad mínima	Distancias entre los puntos de obtención de los insumos y la mina.	Mantener registro del medio de transporte, tipo de vehículo y capacidad, número de viajes, distancias recorridas (km, origen y destino), combustible utilizado y carga (kg) transportada.
		Calidad ideal	Además de las distancias, detalle de los vehículos en los que se transportan los insumos (tipo de vehículo, combustible, capacidad, modelo o alguna especificación que permita obtener la eficiencia o el rendimiento del vehículo)	
Químicos	Emisiones asociadas a la producción de los químicos requeridos para el beneficio del mineral y la consecuente obtención del oro.	Calidad mínima	Consumo mensual de químicos en la unidad correspondiente (kg, gal, L, etc.)	Mantener registro del consumo total de químicos con su descripción, composición, características, peso (o volumen) y tener identificado la cantidad y en qué etapas son utilizados.
		Calidad ideal	Consumo segregado por etapa de operación y especificaciones de los químicos (fabricante, composición, propiedades fisicoquímicas, etc.)	
Residuos	Emisiones provenientes de la generación de residuos sólidos y del tratamiento de aguas residuales industriales	Calidad mínima	Cantidad mensual de residuos generados en la unidad correspondiente (ton, m3, kg, L)	Mantener registro de cantidad de los diferentes tipos de residuos generados en las etapas correspondientes. Contar con pleno conocimiento de la forma en la que estos residuos se gestionan, cumpliendo con la legislación aplicable. Si la gestión se realiza en sitio (por ejemplo, para las
		Calidad ideal	Cantidad de residuos generados, segregada por etapa de operación, especificaciones de los residuos (clasificación de peligrosidad, composición, análisis fisicoquímico), detalle de los métodos de disposición (relleno sanitario, incineración,	

Categoría de emisión	Descripción	Requerimientos de información		Recomendaciones generales
			reciclaje, gestión por parte de un tercero), y ubicaciones de los puntos de gestión a los que se envían los residuos.	aguas residuales industriales), caracterizar los residuos antes y después del tratamiento.

Es fundamental definir y llevar a cabo un proceso de control de calidad a los datos recolectados, que permita identificar datos inusuales (por fuera de los rangos típicos para la actividad en particular), valores ausentes, o cualquier tipo de inconsistencia. En este sentido, se requiere verificar, para cada uno de los datos, la coherencia de la cifra en términos de magnitud, y la pertinencia de la unidad (coherente con el tipo de actividad). En caso de encontrar fallas, se recomienda indagar en las razones de las inconsistencias, y proceder a realizar los ajustes necesarios con base en supuestos robustos y con soporte metodológico. Esto, por supuesto, debe documentarse para fortalecer la transparencia del proceso.

## Bibliografía

Baena, O., y Mendoza, L. (2021). Sustainability of the Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Northeast Antioquia-Colombia. *Sustainability*, 13 (16).

BEIS (2013). Government of the United Kingdom. Department of Business, Energy & Industrial Ecology. *Government conversion factors for company reporting of greenhouse gas emissions*. Recuperado de: <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>

Chadwick, S. S. (1988). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Reference Services Review.

Chaparro A., E. (agosto de 2003). Small-scale mining: a new entrepreneurial approach. *SERIE Recursos naturales e infraestructura* (9).

Chatsungnoen, T., & Chisti, Y. (2019). Flocculation and electroflocculation for algal biomass recovery. En *Biofuels from Algae* (pp. 257-286). Elsevier. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Flocculation-and-electroflocculation-for-algal-Chatsungnoen-Chisti/d40bb6dc262dd5bf57240fbd8b231ffb0596339>

Cicero. (45 BC). *de Finibus Bonorum et Malorum*.

CIDI (2005). *Materiales Cerámicos. Propiedades, Aplicaciones y Elaboración*. Recuperado de: [https://www.google.com/books/edition/Materiales\\_cer%C3%A1micos/ar6MRNYWEsUC?hl=en](https://www.google.com/books/edition/Materiales_cer%C3%A1micos/ar6MRNYWEsUC?hl=en)

DELVE (2020). 2020 State of the ASM Sector Report. Recuperado de la base de datos de Delve: <https://delvedatabase.org/data> (sitio web) y <https://delvedatabase.org/uploads/resources/Delve-2020-State-of-the-Sector-Report-0504.pdf>

División Ingeniería de Transporte (2016) Tabla de Pesos Brutos Máximos autorizados por Fabricantes para Vehículos autopropulsados. Recuperado de: <https://www.transportecarretero.com.uy/images/pdf/normativas/Tabla%20de%20Pesos%20Brutos%20Mximos%20autorizados%20por%20fabricantes%20para%20vehiculos%20autopropulsados.pdf>

Exsa (ND). Hoja de Datos de Seguridad de Producto (MSDS).Ficha técnica. Recuperado de: <https://exsa.net/image/pdf/SEG-MSDS-E-008-SLURREX-MA-G-TC-BS-TCG-TCQ.pdf>

Famesa. Mecha de Seguridad. Ficha técnica. Recuperado de: <http://www.famesa.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/FT-1.-Mecha-de-Seguridad.pdf>

Famesa (2015). Armada de Mecha Lenta. Ficha técnica. Recuperado de: <http://www.famesa.com.pe/wp-content/uploads/2016/11/FT-Carmex.pdf>

Famesa (2016). MSDS: Mecha Rápida. Hojas de Datos de Seguridad. Recuperado de: <http://www.famesa.com.pe/wp-content/uploads/2016/11/HS-MECHA-DE-SEGURIDAD.pdf>

Fscimage, 1998. Material Safety Data Sheet. Ethy alcohol, denatured (A407). Recuperado de: <https://fscimage.fishersci.com/msds/08701.htm>

Hentschel, T (1998) Implementing environmental protection projects in small-scale mining. En *The Proceedings of the Workshop on the Sustainable Development of Non-Renewable Resources Towards the 21st Century*. UNRFNRE, Nueva York.

Hidrolands (ND). Biomanta de Coco Lurran BC330. Recuperado de: <https://hidrolands.mx/assets/files/BIOMALLA-DECOCOCBC320FTT.pdf>

IENIM (1996) *A Mining Strategy for Latin America and the Caribbean*. Documento Técnico del Banco Mundial N.º. 345, Banco Mundial, Washington D.C.

IISD (2018). Global trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A review of key numbers and issues. Recuperado de: <https://www.iisd.org/publications/report/global-trends-artisanal-and-small-scale-mining-asm-review-key-numbers-and#:~:text=Despite%20its%20low%20productivity%2C%20ASM,of%20the%20global%20diamond%20supply.>

ML Ingeniería (ND). Geomembrana HDE GM13 1.00 mm. Ficha técnica. Recuperado de: <https://mlingenieria.com/wp-content/uploads/2016/04/HDPEGM13-1.00mm.pdf>

IGF (Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development) (2018). *Women in Artisanal and Small-Scale Mining: Challenges and opportunities for greater participation*. Winnipeg: IISD.

IIED; WBCSD. (2002). *Abriendo Brecha: Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable*. MMSD.

IPCC, 2014. *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324

IPCC, 2022. *IPCC Sixth Assessment Report. Climate Change 2022-Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Summary for Policymakers. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

León P., L. (1 de junio de 2020). Minería Artesanal y a Pequeña Escala en el Perú: la formalización que nunca llega. Recuperado de *DAR Opina*, Noticias: <https://dar.org.pe/mineria-artesanal-y-a-pequena-escala-en-el-peru-la-formalizacion-que-nunca-llega/>

Demierre, O. (2022) Correo electrónico enviado a Diana Swidler, 27 de mayo

Dupont, ND. General Properties of Tedlar PVF Films. Technical Bulletin. Recuperado de: [https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/tedlar-pvf-films/public/documents/EI00241-Dupont\\_TedlarGeneralProperty-Digital.pdf](https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/tedlar-pvf-films/public/documents/EI00241-Dupont_TedlarGeneralProperty-Digital.pdf)

McMahon, G, Evia, J L, Pasco-Font, A, y Sanchez, J (1999). *An Environmental Study of Artisanal, Small, and Medium Mining in Bolivia, Chile, and Peru*. Documento técnico del Banco Mundial n.º 429, Banco Mundial, Washington D.C.

MKS PAMP (s.f.). Services - Refining. Recuperado de: <https://www.mkspamp.com/refining/excellence>

MINMINAS. (2003). *Glosario técnico minero*. Recuperado de: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>.

MINMINAS; UPME; U. de Córdoba. (2015). INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DEL MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL. Bogotá, Colombia.

National Pollutant Inventory (1999). *Emission Estimation Technique Manual for Explosives Detonation and Firing Ranges*. Recuperado de: <http://www.npi.gov.au/sites/www.npi.gov.au/files/resources/e635847a-22ef-9f74-71ba-c10705d09e59/files/fexplos.pdf>

OCDE. (2016). *FAQ - Abastecimiento de oro proveniente de mineros artesanales y de pequeña escala*. OCDE, Secretaría General. París: OECD Publishing.

Pact. (2022). *Artisanal and Small-scale mining*. Recuperado de Pact World: <https://www.pactworld.org/our-expertise/mining>

Price, C. C., & Stacy, G. W. (1948). PARA-NITROPHENYL SULFIDE-SULFIDE, BIS-(PARA-NITROPHENYL). *Organic Syntheses*, 28, 82-83.

Refal (ND). Copelas de Magnesita. Ficha técnica. Recuperado de: <https://www.refal.cl/pdf/FICHA-TECNICA-COPELAS-REFAL.pdf>

Reuters. (2022). *Dispute between artisan gold miners in Peru leaves 14 people dead*. Sitio web: Reuters. Recuperado de: <https://www.reuters.com/world/americas/dispute-between-artisan-gold-miners-peru-leaves-14-people-dead-2022-06-08/#:~:text=In%202021%2C%20Peru%20produced%2096.6,from%20remote%20and%20poor%20areas>.

Repsol, 2016. Ficha de Datos de Seguridad. Diésel B5 (DB5 S-50). Recuperado de: [https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/DieseB5S50\\_tcm76-83277.pdf](https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/DieseB5S50_tcm76-83277.pdf)

Repsol, 2016 II. Ficha de Datos de Seguridad. Gasolina de 95. Recuperado de: [https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/GASOLINA95\\_tcm76-83274.pdf](https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/GASOLINA95_tcm76-83274.pdf)

Russell, M. (2009). *The Chemistry of Fireworks*. 2nd Edition. Recuperado de: [https://www.google.com/books/edition/The\\_Chemistry\\_of\\_Fireworks/yxRyOf8jFeQC?hl=en](https://www.google.com/books/edition/The_Chemistry_of_Fireworks/yxRyOf8jFeQC?hl=en)

Sonora Naturales, ND. Fundentes para refinería. Ficha técnica. Recuperado de: <https://issuu.com/sonoranaturals/docs/fundentes>

South Pole, 2020. Explosives Reference.

Swiss Agency for Development and Cooperation SDC (2011). *SDC experiences with Formalization and Responsible Environmental Practices in Artisanal and Small-scale Gold Mining in Latin America and Asia (Mongolia)*. Berna, Suiza. Disponible en línea en: [www.sdc.admin.ch/publications](http://www.sdc.admin.ch/publications)

The World Bank (2022). *What a Waste Global Database*. Recuperado de: <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0039597>

UNECE (2010). *Forest Product Conversion Factors for the UNECE region*. Geneva Timber and Forest Discussion Paper. Recuperado de: <https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-49.pdf>

USAID. (2020). CASE STUDY: ARTISANAL AND SMALL-SCALE MINING IN MADRE DE DIOS, PERU. USAID/PERU.

Valdivia, S.M. and Ugaya, C.M.L. (2011). Life Cycle Inventories of Gold Artisanal and Small-Scale Mining Activities in Peru. *Journal of Industrial Ecology*, 15: 922-936. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00379.x>

Veiga, M., & Marshall, B. (2019). The Colombian artisanal mining sector: Formalization is a heavy burden. *The Extractive industries and Society*, 6 (1), 223-228.

Verbrugge, Lanzano, Libassi (2021). The cyanide revolution: Efficiency gains and exclusion in artisanal and small-scale gold mining. *Geoforum*, 126, 267-276.

World Gold Council (junio, 2018). *Gold and climate change: Current and future impacts*. Recuperado de <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-and-climate-change-current-and-future-impacts>

World Gold Council (octubre 2019). *Gold and climate change current and future impacts*. Recuperado de <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-and-climate-change-current-and-future-impacts>

Wotruba, H, Hrushka, F, Preister, M, and Hentschel, T. (1998). *Manejo Ambiental en la Pequeña Minería*. COSUDE, MEDMIN, La Paz, Bolivia.

## Anexo I

### Tablas de suposiciones

#### PE-002

Para el cálculo de la dinamita se asumió el dióxido de nitrógeno.

Ítem	Supuesto	Referencias
<b>Extracción</b>		
Diésel	Densidad por galón	Repsol, 2016
Gasolina		Repsol, 2016 II
Propano	Emisiones CO <sub>2</sub> e por combustión	BEIS, 2013
Semexsa (65%, 85%)	Composición: 100 % NH <sub>4</sub>	Exsa, N/D
Exadit (45 %, 65 %)		
Emulnor	Composición: 70 % NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 20 % NaNO <sub>3</sub> 10 % Aceite combustible	Fscimage, 19 98
Armada de mecha	Composición: pólvora con cubierta de polietileno	Famesa, 2015
Mecha de seguridad		Famesa, ND
Mecha rápida	Composición: PbO <sub>2</sub> Si Nitrocelulosa Alambre interno de aluminio calibre AWG 20 Cubierta de polietileno	Famesa, 2016 Russell, 2009
Semexsa (65 %, 85 %)	Emisiones CO, NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub> por detonación	NPI, 1999
Emulnor		
Exadit (45 %, 65 %)		

Ítem	Supuesto	Referencias
Arma de mecha		
Mecha rápida		
Mecha de seguridad		
Durmientes	Composición: Madera aserrada	UNECE,2010
Escaleras	Densidad promedio entre madera de conífera y no conífera	
Procesamiento		
Ácido perclórico	Asumido como ácido clorhídrico como factor de emisión más aproximado	NA
Copelas de magnesita n.º 7x	Composición: 100 % Mg	Refal, ND
Crisol de cerámica de 30 g	Composición: 25 % arcilla 25 % caolín 25 % silica 25 % Feldespato	CIDI, 2005
Fundente	Composición: 100 % bórax	Sonora Naturales, ND

## CO-007

Ítem	Supuesto	Referencias
Extracción		
Diésel	Composición 10 % biocombustible	Dupont, ND
Gasolina		

Ítem	Supuesto	Referencias
Propano	Emisiones CO <sub>2</sub> e por combustión	BEIS,2013
Indugel Plus AP (26 x 250 mm, 32 x 250 mm)	Composición: 70 % NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>  20 % NaNO <sub>3</sub>  10 % aceite combustible	South Pole, 2020
Indugel Plus AP (26 x 250 mm, 32x 250 mm)	Emisiones CO, NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub> por detonación	NPI, 1999
Geomantos de fibras biodegradables	Peso:  0,32 kg/m <sup>2</sup>	Hidrolands,N D
Procesamiento		
Geomembrana HDP 60 um	Densidad:  940 kg/m <sup>3</sup>  Peso:  0,001 m	ML Ingeniería, ND
Ácido clorhídrico	Densidad:  1.216 kg/L	NA
Cilindro acetileno (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) grado AAS A7 6.5m <sup>3</sup>	Asumido como etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) por similitud química	NA
Copela de magnesita N°7	Composición:  100 % Mg	Refal, ND

Ítem	Supuesto	Referencias
Crisoles de cerámica	Composición: 25 % arcilla 25 % caolín 25 % silica 25 % feldespato	CIDI, 2005
Fundente	Composición: 100 % bórax	Sonora Naturales, ND
Nitrato de plata (AgNO <sub>3</sub> )	Composición: Modelado con cantidad de reactivos necesarios para su síntesis	Chadwick, 1988 (page 29)
Floculante	Composición: Sulfato de aluminio 100 %	Chatsungnoen, 2019
Xantato amílico de potasio	Composición: Modelado por reacción de síntesis	Price, 1948
A-65 Espumante	Composición: Asumido como ácido fosfórico por similitud geométrica molecular con ditiofosfato	9.1.35, 9.1.36
Tanque de oxígeno	Contenido: 60 kg/unidad	Similaridad con mina CO-011
Acetato de plomo	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	9.1.47 (lead acetate page 2)

Ítem	Supuesto	Referencias
Metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	9.1.55
Xantato	Composición: Asumido como Xantato amílico de potasio por similitud química	NA
Espumante A65	Composición: Asumido como ácido fosfórico 100 %	9.1.35, 9.1.36
Colector A208	Composición: Fosfato de sodio 100 %	9.1.35
Residuos	Factor de emisión promedio por tonelada de residuo en Colombia	9.1.48

## CO-011

Ítem	Supuesto	Referencias
<b>Extracción</b>		
Tablón	Densidad: 640 kg/m <sup>3</sup>	<a href="#">Link</a> (Página web como referencia)
Palanca		
Capiz		

Ítem	Supuesto	Referencias
Emulind	Composición: Nitrato de aluminio 70 % $\text{NH}_4\text{NO}_3$ Nitrato de sodio 20 % $\text{NaNO}_3$ 10 % aceite combustible	9.1.16
Indugel		
Mecha de seguridad	Composición: pólvora con cubierta de polietileno	9.1.12
Conector antiflaude explosivo	Asumido como conector eléctrico	<a href="#">Link</a> (página web como referencia)
ANFO	Composición: 95 % $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 5 % aceite combustible	9.1.57
Mecha de seguridad	Emisiones CO, NOx, H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub> por detonación	9.1.37
Indugel		
Emulind		
ANFO	Emisiones CO, NOx, H <sub>2</sub> S y SO <sub>2</sub> por detonación	9.1.37
<b>Procesamiento</b>		
Oxígeno	Extrapolado con el valor de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA

Ítem	Supuesto	Referencias
Propano	Extrapolado con el valor de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	Extrapolado con el valor de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA
Acetato de plomo	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	9.1.47 (lead acetate page 2)
Policloruro de aluminio	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	9.1.46
Cloruro de bario	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	Chadwick, 1988 (page 29)
Policrilamida	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	<a href="#">Link</a> (página web como referencia)
Ferrocianuro	Composición: Modelado con la reacción de síntesis	Chadwick, 1988 (page 29)
pH strips	Composición: Asumido como 100 % celulosa	9.1.50, 9.1.51
Propano	Emisiones CO <sub>2</sub> e por combustión	9.1.26
Residuo líquido (lodo neutralizado)	Descartado, este residuo se vende y tiene un precio bajo, permitiendo que se desprece del análisis	NA
Residuo sólido	Extrapolado con el valor de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA

## Informe final

---

Ítem	Supuesto	Referencias
Residuo líquido	Extrapolado con el valor de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA

### PE-006

Ítem	Supuesto	Referencias
Agua de lluvia	Asumido como agua de río	NA
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	Extrapolado con el valor de la mina CO-007 de acuerdo con la producción de oro	NA
Costales de yute	Extrapolado con el valor de la mina CO-002 de acuerdo con la producción de oro	NA
Mangueras industriales	Extrapolado con el valor de la mina CO-002 de acuerdo con la producción de oro	NA

### CO-002

Ítem	Supuesto	Referencias
Lubricantes mecánicos (ISO S8, ISO 80, ISO 90)	Asumido como lubricante 15W40 con precio de 15.847 COP/L  Composición:  100 % petróleo crudo parafínico	<a href="#">Homecenter</a>  <a href="#">Composición</a> (página web como referencia)
Bórax	Extrapolado de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA

Ítem	Supuesto	Referencias
Bicarbonato	Extrapolado de la mina PE-002 de acuerdo con la producción de oro	NA
Oxígeno	Extrapolado de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA
Propano	Extrapolado de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA
Electricidad	Extrapolado de la mina PE-006 de acuerdo con la producción de oro	NA
Residuos	Factor de emisión promedio por tonelada de residuo en Colombia	9.1.48

## Anexo II

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte Upstream	Comentarios	Transporte Downstream	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Area ocupada (m2)	m2										Superficie en la que se encuentra actualmente la mina
Area transformada (m2)	m2										Superficie que ha sido transformada en los últimos 20 años
Area rehabilitada (m2)	m2										Superficie destinada a conservación y restauración
Ley de cabeza (gr/ton)	gr/ton										

### Aviso legal:

Este informe es únicamente para el uso de SBG. Ninguna parte de este puede circular, ser citado o reproducido para distribución a terceros sin el consentimiento previo por escrito de South Pole Carbon Asset Management Ltd.

## Informe final

Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Etapas								Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte <i>Upstream</i>	Comentarios	Transporte <i>Downstream</i>	Comentarios		
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Infraestructura de carreteras y caminos (extensión aproximada en km)	km3										Infraestructura creada en los últimos 20 años
Años que la mina espera estar operando											
Año de reporte											Año sujeto al inventario
Acopio de otras minas	Cantidad en kg						Distancia desde las otras minas				
Composición del doré	%										% de cada mineral en el doré
Producción mensual de doré	kg								Distancia en km y destino final		
Producción mensual de plata	kg								Distancia en km y destino final		
Producción mensual de otros minerales	kg								Distancia en km y destino final		

## Informe final

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte <i>Upstream</i>	Comentarios	Transporte <i>Downstream</i>	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Flujograma de los procesos de la mina											Suministrar flujograma de procesos
<b>Recursos extraídos</b>											
Consumo mensual de Agua Industrial (agua consumida durante el proceso de extracción y procesamiento del oro. Se excluye agua doméstica consumida por los operarios, para la cocina y los baños)	m3		Cantidad de agua consumida en la extracción		Cantidad de agua consumida en el procesamiento						Consumo total anual Especificar procedencia
<b>Consumo mensual de electricidad</b>											
Consumo mensual de electricidad	kWh		Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, ventiladores, vagonetas...)		Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, ventiladores, vagonetas...)						Consumo total anual Especificar si es bajo, medio o alto voltaje Especificar procedencia

## Informe final

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte <i>Upstream</i>	Comentarios	Transporte <i>Downstream</i>	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Consumo mensual de materiales/combustibles											
Diesel-ACPM	galones		Cantidad y especificaciones Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, motores portátiles, retroexcavadores, volquetes...)		Cantidad y especificaciones Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, motores portátiles, retroexcavadores, volquetes...)		Distancia desde obtención del combustible (diesel) hasta la mina				Consumo total anual
Gasolina	galones		Cantidad y especificaciones Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, motores portátiles, retroexcavadores, volquetes...)		Cantidad y especificaciones Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, motores portátiles, retroexcavadores, volquetes...)		Distancia desde obtención del combustible (gasolina) hasta la mina				

## Informe final

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte <i>Upstream</i>	Comentarios	Transporte <i>Downstream</i>	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Lubricantes	galones		Cantidad y especificaciones Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, motores portátiles, retroexcavadores, volquetes...)		Cantidad y especificaciones Si es posible, especificar consumo por maquinaria (ex. bombas de agua, motores portátiles, retroexcavadores, volquetes...)		Distancia desde obtención del material (lubricantes) hasta la mina				
Armada de mecha	Unit		Cantidad y especificaciones		Cantidad y especificaciones		Distancia desde obtención del material hasta la mina				
Dinamita	Kg		Cantidad y especificaciones								
Mecha de seguridad	metros		Cantidad y especificaciones								
Mecha rápida	metros		Cantidad y especificaciones								
Puntales	Kg		Cantidad y especificaciones								
Durmiente	Kg		Cantidad y especificaciones								

## Informe final

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte Upstream	Comentarios	Transporte Downstream	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Escaleras	Kg		Cantidad y especificaciones								
Riel De Acero	Kg		Cantidad y especificaciones								
Malla Electrosoldada	meters		Cantidad y especificaciones								
Split	Kg		Cantidad y tamaño								
Bolas de hierro	Kg		Cantidad y tamaño								
Cianuro de sodio	Kg		Cantidad								
Soda cáustica	Kg										
Carbon activado	Kg										
Borax	Kg										
Nitrato de potasio	Kg										
Silica	Kg										
Carbonato de sodio	Kg										
Nitrato de calcio	Kg										
Coagulantes	Kg										
Floculantes	Kg										

## Informe final

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte Upstream	Comentarios	Transporte Downstream	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Oxigeno	L										
Gas propano	L										
Ácido nítrico	Kg										
Copelas	Kg										
Fundentes	Kg										
Crisoles	Kg										
Perchloric acid 69-72 % P.A.	Kg										
Granular borax 10 H2O-99.20%	Kg										
Cajas	Kg										
Otros materiales											
<b>Contabilización de residuos mensuales</b>											
Desmante	ton										
Residuos para relavera	m3										
Cartón	kg								Distancia a destino y especificación de destino		

## Informe final

		Etapas									
Celdas en gris: No es necesario rellenarlas		Extracción	Comentarios	Procesamiento	Comentarios	Transporte <i>Upstream</i>	Comentarios	Transporte <i>Downstream</i>	Comentarios	Resultados anuales totales de la mina	Comentarios
Nombre de la mina											
Concepto	Unidad										
Plástico	kg								Distancia a destino y especificación de destino		
Metales	kg								Distancia a destino y especificación de destino		
Residuos peligrosos	kg								Distancia a destino y especificación de destino		Ej. Residuos de dinamita, trapos contaminados de químicos
Residuos líquidos	L								Distancia a destino y especificación de destino		Ej. lubricantes usados, agua barren sin más uso
Otros residuos	kg								Distancia a destino y especificación de destino		Cristales, bombonas vacías, papeles

