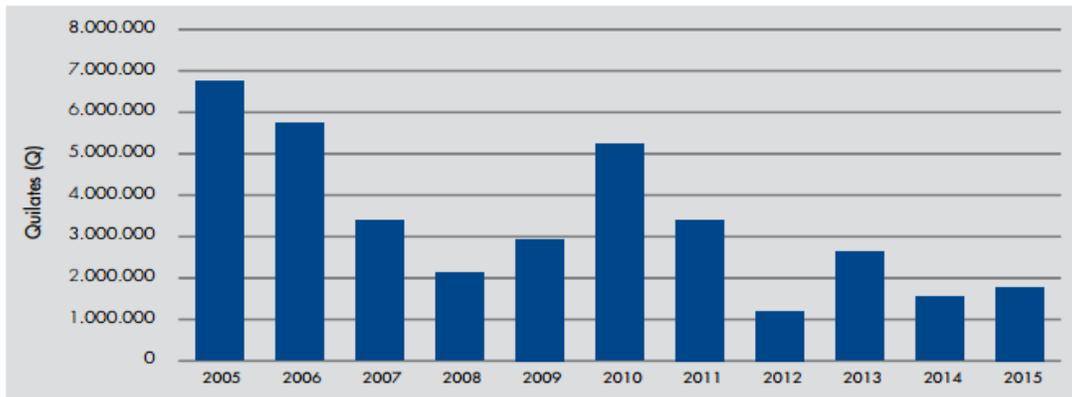


## Anexos

1. Producción de quilates esmeraldas según declaraciones para exportaciones del año 2015.



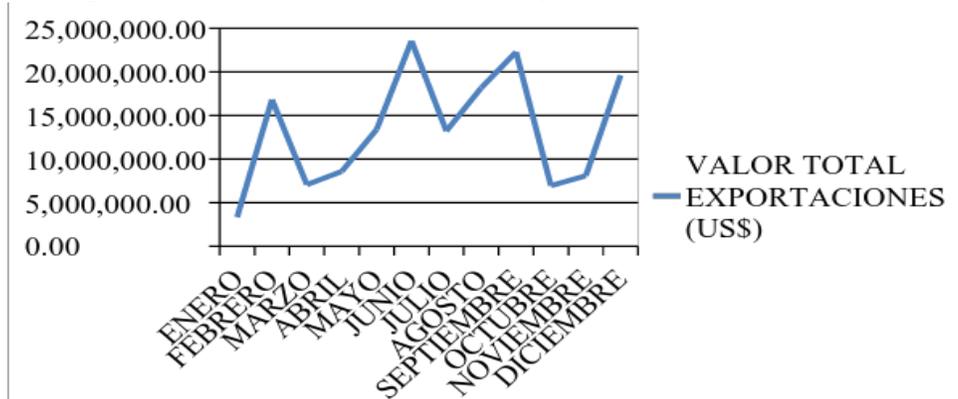
**Fuente:** (MinMinas, 2016)

2. Histórico de producción de quilates esmeraldas según declaraciones para exportaciones del año 2015.



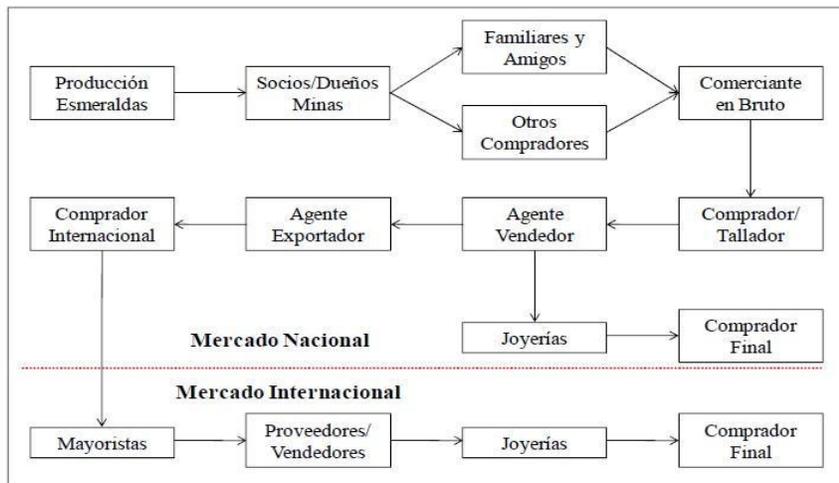
**Fuente:** Elaborado por autor a partir de datos de producción del SIMCO (SIMCO, 2015)

3. Exportaciones (USD\$) de esmeraldas para el año 2015



**Fuente:** Elaborado por autor a partir de datos de producción de la Agencia Nacional de Minería.

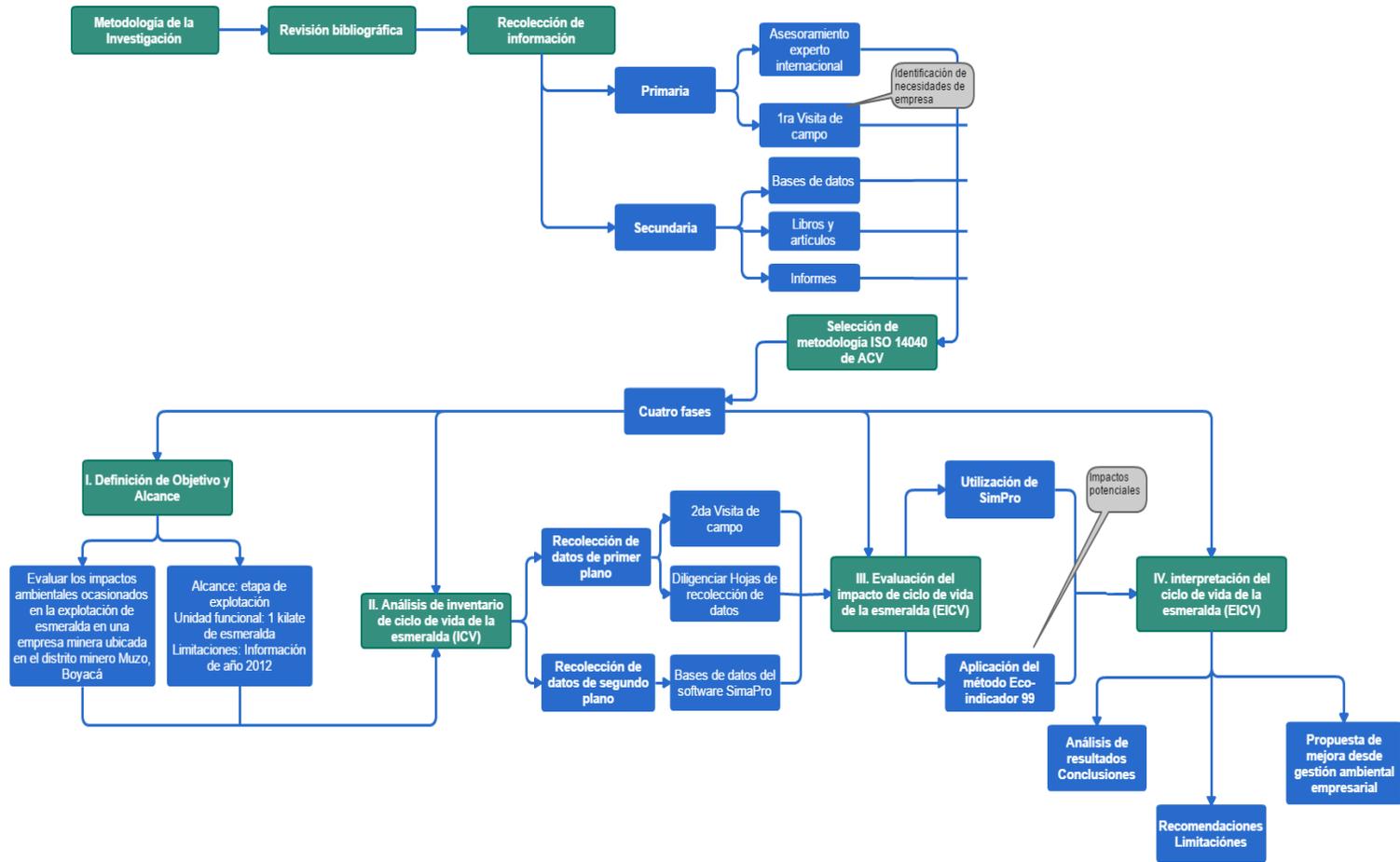
4. Cadena de comercialización de esmeralda



**Fuente:** (Siñuela, 2012)

5. Diagrama de flujo de la metodología en el proyecto de investigación

**Fuente:**  
Tomado de SimaPro 8



## 6. Bases de datos para Inventario de Ciclo Vida

Nombre de la Base de Datos	Gestionada por	Descripción
Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete	Portland cement association PCA R&D Serial No. 3 <a href="http://assets.ctlgroupp.com/ae/a962c9279b-4cf2-9dac-9706094e408e.PDF">http://assets.ctlgroupp.com/ae/a962c9279b-4cf2-9dac-9706094e408e.PDF</a>	El ICV para mezclas "in situ" de hormigón, mampostería de hormigón y hormigón pretensado.
World steel Life Cycle Inventory	Former IISI (International Iron and Steel Institute) <a href="http://www.worldsteel.org">http://www.worldsteel.org</a>	Una base de datos de ICV global especificada para productos de acero.
European Reference Life Cycle Database (ELCD)	European Commission <a href="http://lct.jrc.ec.europa.eu">http://lct.jrc.ec.europa.eu</a>	Base de datos de ICV de materiales clave, consumo de energía, transporte y gestión de residuos.
U.S. database	US National Renewable Energy Laboratory (NREL) <a href="http://www.nrel.gov/lci/">http://www.nrel.gov/lci/</a>	Varios materiales, energía y procesos de ensamblaje enfocados a condiciones de los E.E.U.U., compatible con bases de datos internacionales.
SPINE@CPM database	Chalmers University of Technology, Sweden <a href="http://www.cpm.chalmers.se">http://www.cpm.chalmers.se</a>	La base de datos de ICV nacional de Suecia que incluye material detallado, transporte, energía y gestión de residuos.
Ecoinvent v3.0	The Swiss Centre for Life Cycle Inventories <a href="http://www.ecoinvent.ch">http://www.ecoinvent.ch</a>	La base de datos ICV cubre energía, transporte y fabricación del material para la mayoría de los campos de la industria.
IdeMat	Delft University of Technology <a href="http://www.idemat.nl/index.htm">http://www.idemat.nl/index.htm</a>	Series de materiales comunes como vidrio, metales, polímeros, madera, etc.

**Fuente:** (Du & Karoumi, 2014)

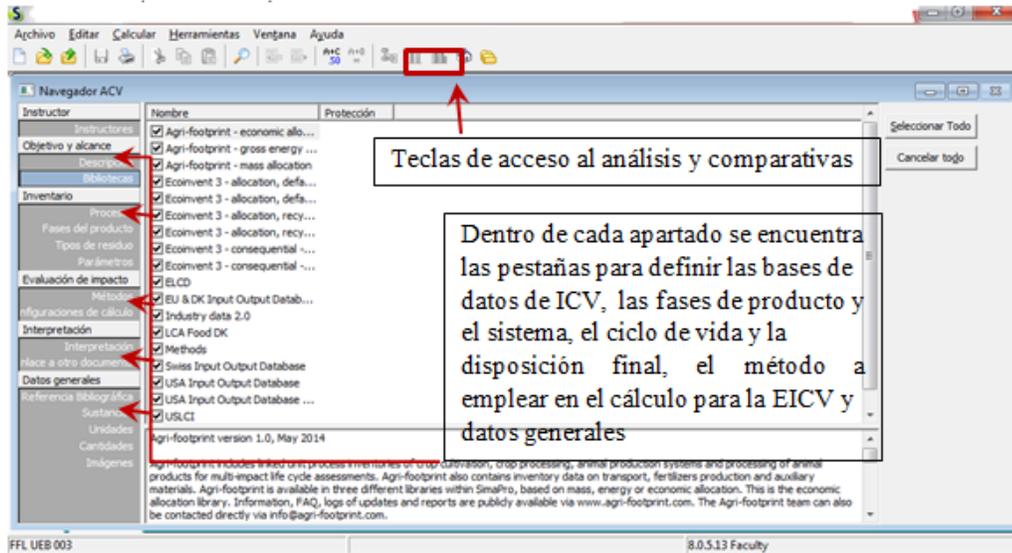
## 7. Herramientas Software para Análisis de Ciclo de Vida

Nombre	Desarrollado por	Base de datos ICV	Metodología de EICV
ATHENA @Impact	The Athena Sustainable Materials Institute	Materiales de construcción	TRACI
ECO-it 1.4	Pré Consultants, Netherlands	Materiales y procesos habituales	Eco'95, Eco'99
EPS 2000 Design System	Assess Ecostrategy Scandinavia AB	Materiales y procesos habituales	EPS
Invest 2	Invest, UK <a href="http://invest2.bre.co.uk/">http://invest2.bre.co.uk/</a>	n/a	Ecopoints
GABI Software 4	PE International, IKP University of Stuttgart, Germany	Ecoinvent	Eco'95, Eco'99, Ecological Scarcity Method, CML
DEMAT	TU Delft, Netherlands	n/a	Eco'95, Eco'99, EPS y CExD
LCAiT 4	Chalmers Industriteknik, Ekologik, Sweden	Materiales y procesos habituales	EDP, Eco-indicators, Environment theme method, EDIP
SimaPro 8.3	Pré Consultants, Netherlands	Ecoinvent v2.2, ETH-ESU 96 database, BUWAL 250, and IDEMAT 2001	Eco'95, Eco'99, CML 1992, CML 2000, EDIP, EPS 2000, Ecopoints 1997, EPD method, TRACI, Impact 2002+, CED.
TEAM™ 4.0	The Environmental Impact Estimator Ecobilan, France	Materiales y procesos habituales	Eco'99, CML 2000, IPCC
Simplified LCA	Simplified LCA software for railway bridge	Ecoinvent	Enfoque racionalizado

ETSI Bridge	LCA software tool for Bridge	Ecoinvent	CML 2000
-------------	------------------------------	-----------	----------

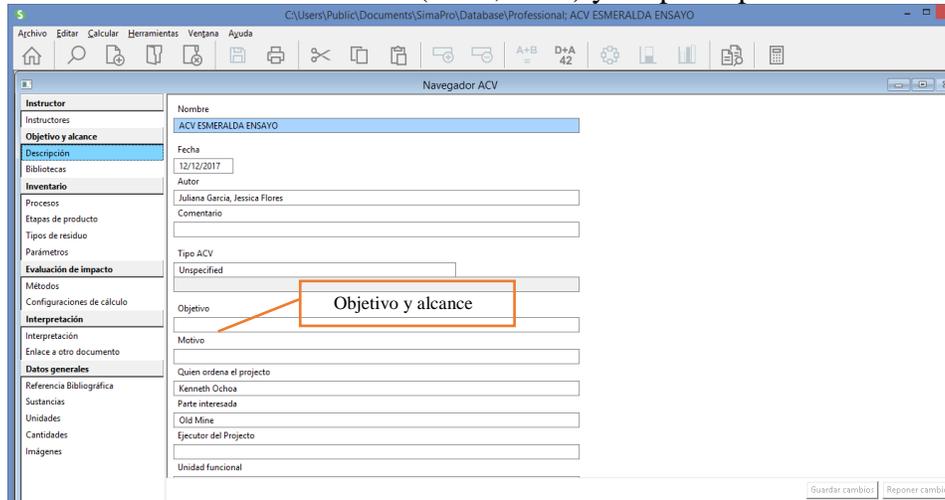
**Fuente:** (Du & Karoumi, 2014)

## 8. Ilustración del software SimaPro 8.4



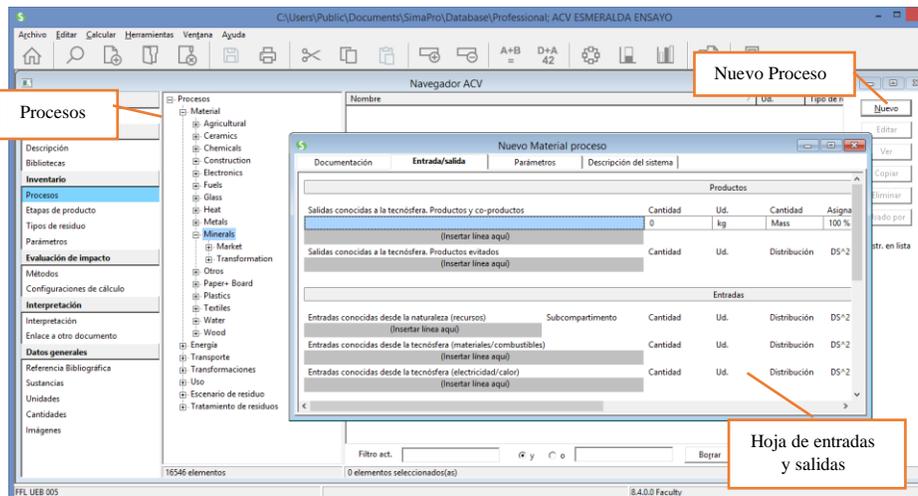
## Interfaz del software SimaPro y bibliotecas integrada (SimaPro 8.3)

**Fuente:** Tomado de (Roca, 2014) y adaptado por autor



## Objetivo y Alcance en SimaPro8

**Fuente:** Autor



*Ingreso de entradas y salidas en SimaPro 8*  
**Fuente:** Tomado y adaptado de (Pré Consultants, 2016)

## 9. Hoja de recolección de datos

Nombre de la empresa:  
 Teléfono de contacto:

Tiempo de funcionamiento de la empresa:  
 Horas laborales:  
 Duración de turno:

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		DATOS PRIMARIOS, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA EXPLOTACIÓN DE ESMERALDA		PROCESO ELABORADO	
	NOMBRE	CANTIDAD	UNIDADES
INSUMOS Y MATERIALES EN EL PROCESO DE EXPLOTACIÓN			
INSUMOS Y MATERIALES DE SERVICIOS AUXILIARES			
INSUMOS ENERGÉTICOS	ÁREA DE CONSUMO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD UNIDADES
	PROCESO DE EXPLOTACIÓN		
	SERVICIOS AUXILIARES		

USO DE ENERGÍA			
NOMBRE	CANTIDAD	UNIDADES	UNIDADES
RED ELÉCTRICA			
ELECTRICIDAD GENERADA			
GAAS NATURAL			

RESIDUOS SÓLIDOS			
TIPO DE RESIDUO	CANTIDAD	UNIDADES	DISPOSICIÓN
RESIDUOS DEL PROCESO			
BASURA NO RECICLADA			
RESIDUOS RECOGIDOS EN DISPOSITIVOS DE CONTROL AMBIENTAL			

EMISIONES AL AIRE				
NOMBRE	CANTIDAD	UNIDADES	PROCESO	TIPO DE COMBUSTIBLE

EMISIONES AL AGUA					
NOMBRE	CANTIDAD	UNIDADES	PROCESO	SUSTANCIA DE ORIGEN	FUENTE RECEPTORA

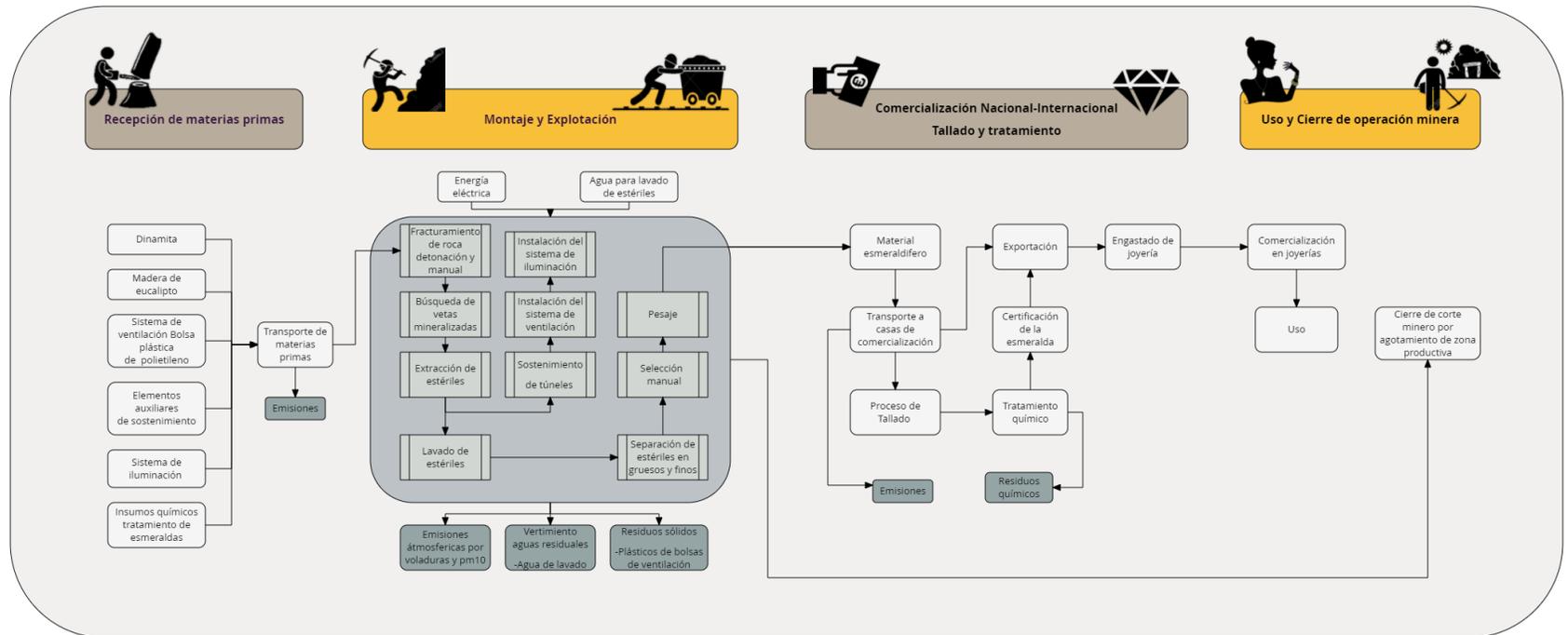
SALIDAS ÚTILES			
PRODUCTO PRIMARIO	CANTIDAD	UNIDADES	
COPRODUCTOS			
CALOR Y ENERGÍA RECUPERADOS			
RECICLAJE			

USO DE AGUA			
FUENTE	CANTIDAD	UNIDADES	
AGUA DE PROCESO			
ENTRADA			
SALIDA			
AGUA DE LAVADO			
ENTRADA			
SALIDA			

MÉTODOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
MATERIALES	ENERGÍA	RESIDUOS SÓLIDOS	EMISIONES	

**Fuente:** Tomado y adaptado por autor de Life Cycle Assessment Handbook-Mary Ann Curran

## 10. Ciclo de vida de la esmeralda



**Fuente:** Elaborado por autor

### 11. Equipos y maquinaria de la mina

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>
1	Planta eléctrica	400 kw
1	Subestación eléctrica	
1	Transformador en seco	34 kva, 220kv
1	Compresor	250psig (para cuatro
1	Malacate eléctrico	Motor de 30 Hp
1	Motoreductor	Motor 6 Hp
2	Martillo neumático	
2	Perforador neumático	
2	Ventilador	Motor 9 Hp
3	Electrobomba	AB-S Jumbo 52 HD
2	sumeElectrobombagible	Nowa AQ 041-0Q2 de 4",
24	estacionariaVagonetas	Motor 20 Hp
1	Tanque de combustible	De 1000 o 600 galones
1	Camioneta	Tipo estacas
	Herramientas manuales	Pala, pica, azadón, barra,
	Dotación personal	Casco, botas, overol, otros
1	Almacén	
1	Taller de madera	
1	Taller de mecánica	
1	Taller de electricidad	
	Accesorios eléctricos	
	Accesorios neumáticos	
	Herramientas eléctricas	
1	Compresor eléctrico	
1	Taladro árbol	Motor 1.5 Hp

**Fuente:** Información suministrada por administrador de la empresa

### 12. Imágenes de caracterización de la empresa caso de estudio



Subestación eléctrica de la mina de estudio



Bomba estacionaria ubicada en el sitio del tanque de rebombeo



Pozo principal de 100 metros de profundidad y túnel en la mina de estudio



Acopio de madera y frente de trabajo después de voladura



Sistema de malacate para extraer estériles hasta superficie  
13.

14. Entrada de datos de primer plano y datos de fondo al software SimaPro

Productos								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos	Cantidad	Ud.	Cantidad	Asignación	Tipo de residuo	Categoría	Comentario	
Explotación de metro de avance en mina	1	m	Length	100%		ACV MINA DE ESMERALDA		
(insertar línea aquí)								
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario	
(insertar línea aquí)								
Entradas								
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
Water, river, CO	in water	720	l	Indefinido				
Transformation, from mineral extraction site	in ground	1,5	m2	Indefinido				
Transformation, to mineral extraction site	in ground	1,5	m2	Indefinido				
Occupation, industrial area	land	1500	m2a	Indefinido				
(insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario	
Reinforcing steel (RoW) production   Alloc Rec, U	0,45	kg	Indefinido					
Cement, Portland (RoW) production COL	15,58	kg	Indefinido					
Steel, low-alloyed (RoW) steel production, electric, low-alloyed   Alloc Rec, U	0,44	kg	Indefinido					
Roundwood, hardwood, average, medium intensity management, NE-NC/RNA	1,49	m3	Indefinido					
Cable, three-conductor cable (CO)	1	m	Indefinido					
Sand (RoW) gravel and quarry operation   Alloc Rec, U	55,74	kg	Indefinido					
Explosivo Indugel	5	kg	Indefinido					
Incandescent light bulb CO	0,02	kg	Indefinido					
Extrusion, plastic film (RoW) production   Alloc Rec, U	0,50	kg	Indefinido					
Lubricating oil (RoW) production   Alloc Rec, U	0,04	kg	Indefinido					
(insertar línea aquí)								
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario	
Electricity, high voltage (CO) production mix	4,55	kWh	Indefinido					
Petrol, unleaded, burned in machinery (GLO) petrol, unleaded, burned in machinery   Allo	31,56	MJ	Indefinido					
Energy, from diesel burned in machinery/RER Energy	15,59	MJ	Indefinido					
(insertar línea aquí)								

Salidas								
Emissiones al aire	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
MMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified	indoor	0,2	kg	Indefinido				
Particulates, < 2,5 um	indoor	0,027	kg	Indefinido				
Aluminium	indoor	0,151	kg	Indefinido				
Particulates, > 10 um	indoor	0,0015	kg	Indefinido				
Carbon monoxide, fossil	indoor	0,385	kg	Indefinido				
Ammonia	indoor	0,296	kg	Indefinido				
Particulates, > 2,5 um, and < 10um	indoor	0,0015	kg	Indefinido				
(insertar línea aquí)								
Emissiones al agua	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
Water, CO		720	l	Indefinido				
Sulfur		2,8	kg	Indefinido				
Copper sulfate		3,5	kg	Indefinido				
Soil loss by erosion into water		3	kg	Indefinido				
(insertar línea aquí)								
Emissiones al suelo	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
Oils, unspecified		0,125	kg	Indefinido				
Sulfur		2,8	kg	Indefinido				
(insertar línea aquí)								
Flujos finales de residuos	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
Wood waste		6	kg	Indefinido				
Packaging waste, contaminated		0,11	kg	Indefinido				
Light bulb waste		0,11	kg	Indefinido				
Plastic waste		0,375	kg	Indefinido				
Soil, contaminated		3310	kg	Indefinido				
(insertar línea aquí)								
Emissiones no materiales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
(insertar línea aquí)								
Aspectos sociales	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS*2 or 2*DS	Min	Máx	Comentario
(insertar línea aquí)								

Fuente: Elaborado por Autor con base en SimaPro 8

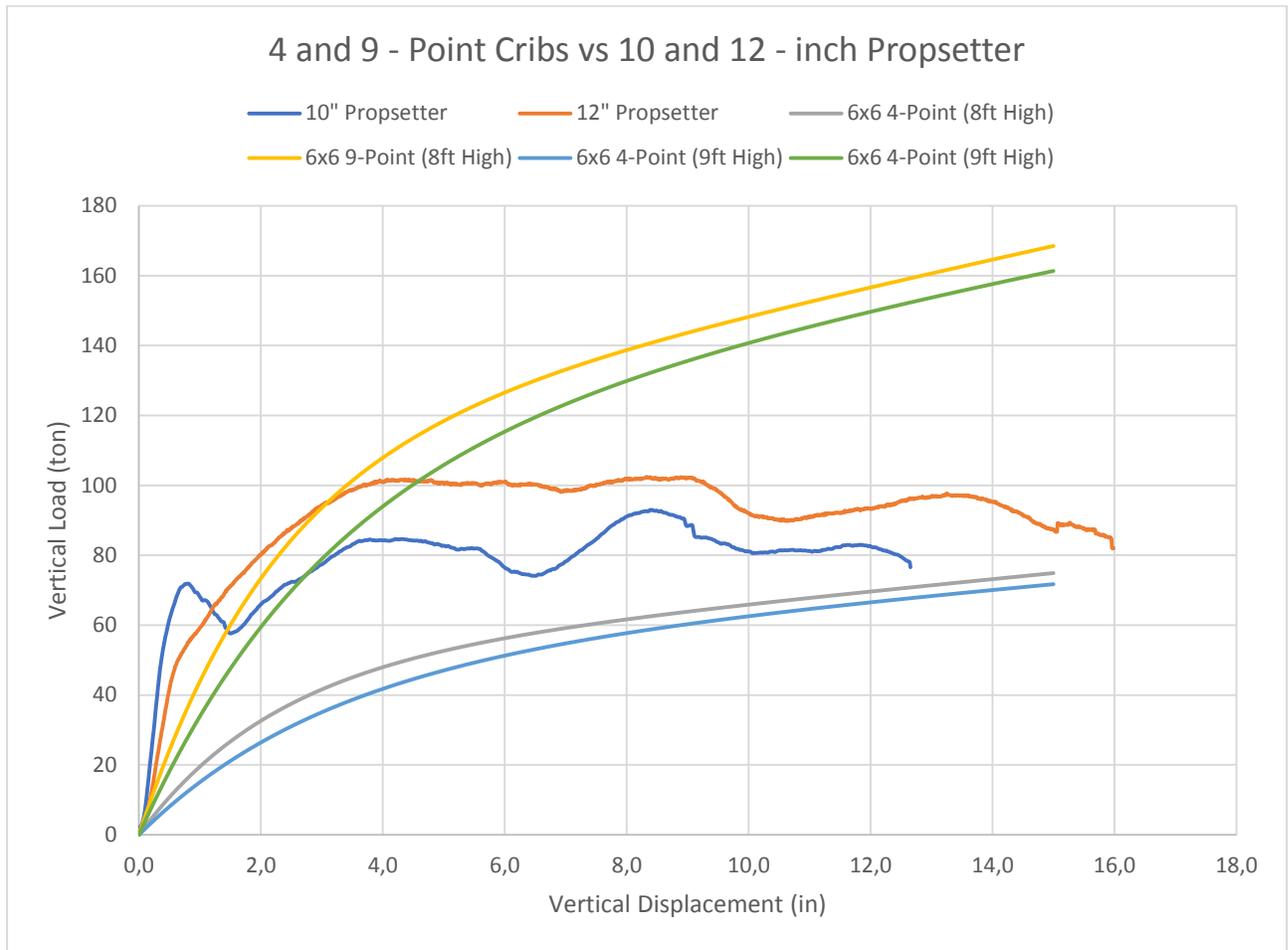
### 15. Proceso Bombilla incandescente

Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	
Incandescent light bulb	0.028	kg	Mass	100 %	not defined	Electron...	
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	
Inputs							
Inputs from nature	Subcompartimento	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distribution				
Flat glass, uncoated (RoW) production   Alloc Rec, U	0.6138	g	Undefined				
Aluminium, extrusion, at plant/kg/RNA	0.0334	g	Undefined				
Wire drawing, copper (RoW) processing   Alloc Rec, U	0.0036	g	Undefined				
Adhesive, for metal (RoW) production   Alloc Rec, U	0.0224	g	Undefined				
Corrugate packaging, from open molding, for shipping/kg/RNA	0.12	g	Undefined				

**Fuente:** Autor

### 16. Capacidad de soporte de Sistema Propsetter frente a 4 tecnologías de soportes de madera

## Support Capacity @ 2" of Convergence



**Fuente:** (Strata, 2018)

Unit	Block Length (ft)	Rated Support Capacity (tons)	Number of Rows	Spacing Skin to Skin (ft)	Support/Ft Entry (tons/ft)	Units/100 Ft Entry
6x6 4-Point (8ft High)	3.0	32.0	2	3.5	6.4	20
6x6 4-Point (9ft High)	3.0	25.0	2	3.5	5.0	20
6x6 9-Point (8ft High)	3.0	70.0	2	3.5	14.0	20
6x6 9-Point (9ft High)	3.0	60.0	2	3.5	12.0	20
10" Propsetter	-	65.0	2	7.0	16.6	24
12" Propsetter	-	100.0	2	7.0	25.0	24

17. Tabla capacidad de soporte de Sistema Propsetter frente a 4 tecnmologias de soportes de madera

**Fuente:** (Strata, 2018)

18. *Productos de madera plástica*



## 19. Ficha técnica de madera plástica

Debido a dicha mezcla, los valores de las propiedades típicas son:

Densidad (Mg. / M3):	0.86
Módulo elástico a tensión:	1.40
Resistencia a la tensión (MPa):	32
Elongación a la ruptura (%):	4,25
Temperatura de deflexión por calor a 0.45 MPa	100 °C.
Temperatura de deflexión por calor a 1.81 MPa	60 °C.
Hidrofilidad	cercana a 0
Índice de dureza (Shore):	D 65
Tolerancias dimensionales:	
Sección:	+ ó - 3%
Longitud:	+ ó - 2%

## 20. Sistema de detonación electrónica





21. Estimación de la inversión de la madera

Estimación de la inversión								
Categoría	Medida estándar en el mercado	Costo estándar en el mercado	Cantidad requerida por metro de avance	Unidad	Costo estimado por unidad	Cantidad Anual	Unidad	Costo anual estimado
<b>Materiales</b>								
<b>Base de madera</b>	20 cm de ancho *30 cm de grosor con 300 cm de largo = 180,000 cm <sup>3</sup> = 0.18 m <sup>3</sup>	40,000	0.00578	m <sup>3</sup>	1,284	3	m3	\$666,670
Notas: 10 cm de grosor cada base y son dos por cada poste esto es 20 cm de grosor. Son 17 cm por cada lado, y por cada metro de avance es 1 poste en promedio entonces se necesita 5780 cm <sup>3</sup> = 5.7x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>								
<b>Madera rolliza</b>	Bloques de 5m de alto por 13 cm de diámetro	22,330	2.5	m	22,330	2,185	m	\$48,800,000
Nota: Cada 1.75 m se pone soporte de madera de cuatro puntas, y para el caso del propsetter cada 2 m, la altura del túnel es de 2.6 m y se debe poner un soporte a cada lado así que en promedio para cada metro de avance se requiere 2.5 m de madera teniendo en cuenta los 10 cm del base de madera, esto multiplicado por 874 unidades de maderas requeridas para el soporte anual (ver apartado 7.3.1.)								
<b>Alambre de acero</b>	2 mm de grosor x 50 m de largo	82,600	3.23	m	1,652	1,806	m	\$2,982,851
<b>Costo total</b>								\$52,449,517

materiales								
Transporte								
<b>Camión</b>		24,870				2,440		\$45,231,750
Costo total trans.								\$45,231,750
Recurso humano								
<b>Carpinteros</b>	-							\$0.00
Notas: Los mineros de la empresa realizan este trabajo								
<b>ESTIMATED MARKETING GRAND TOTAL</b>								<b>\$97,018,224</b>



# Análisis de Ciclo de Vida en la Explotación de Esmeralda en el Distrito Minero Muzo en el Occidente de Boyacá

Estudio de Caso para una Empresa Minera

Jessica Paola Flórez Murcia

Línea de Investigación: Gestión Integral Sustentable

Tipo de Investigación: Aplicada

Director: Kenneth Ochoa

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá 2018

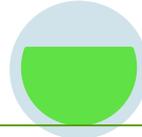
## Objetivo General

Generar alternativas de mejora desde la gestión ambiental para que se mitiguen los impactos ambientales potenciales en la explotación de una empresa de esmeraldas en el distrito minero Muzo en el occidente de Boyacá, a partir de la herramienta Análisis de ciclo de vida ISO 14040.

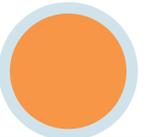


Realizar un diagnóstico de la explotación de esmeraldas, bajo las condiciones de la empresa objeto de estudio

## Objetivos específicos



Analizar los impactos ambientales de la explotación de esmeralda a partir de las condiciones identificadas en el ACV para la empresa en cuestión



Proponer alternativas de mejora ambiental desde la Gestión Ambiental para la empresa en estudio.

Objetivos

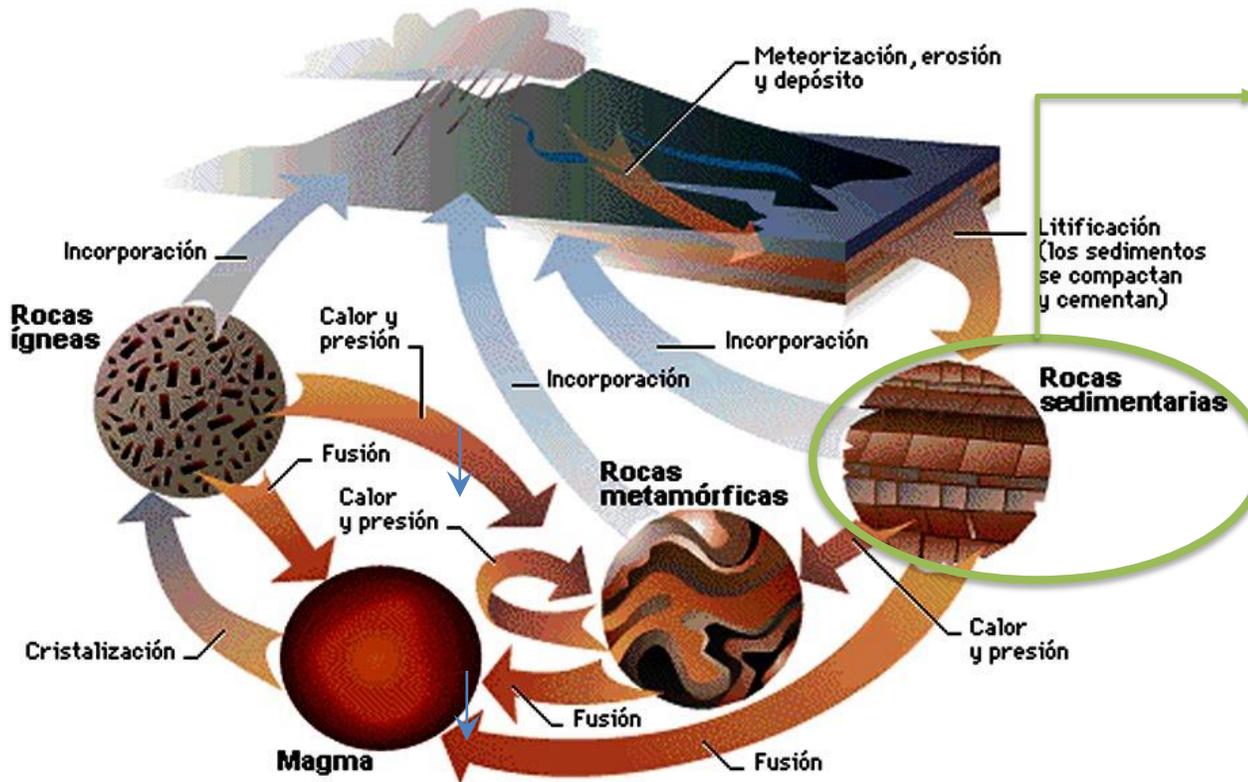
Mineralizaciones de carbonatos (calcita y dolomita), Pirita y albita

Silicio, Aluminio, Oxígeno, Berilio y Cromo



Cr= verde cristalino

Quilate	Gramos
1	0,2 (1/5)



# Contextualización



# Mercado

Colombia exporta el 95% de su producción a países como:

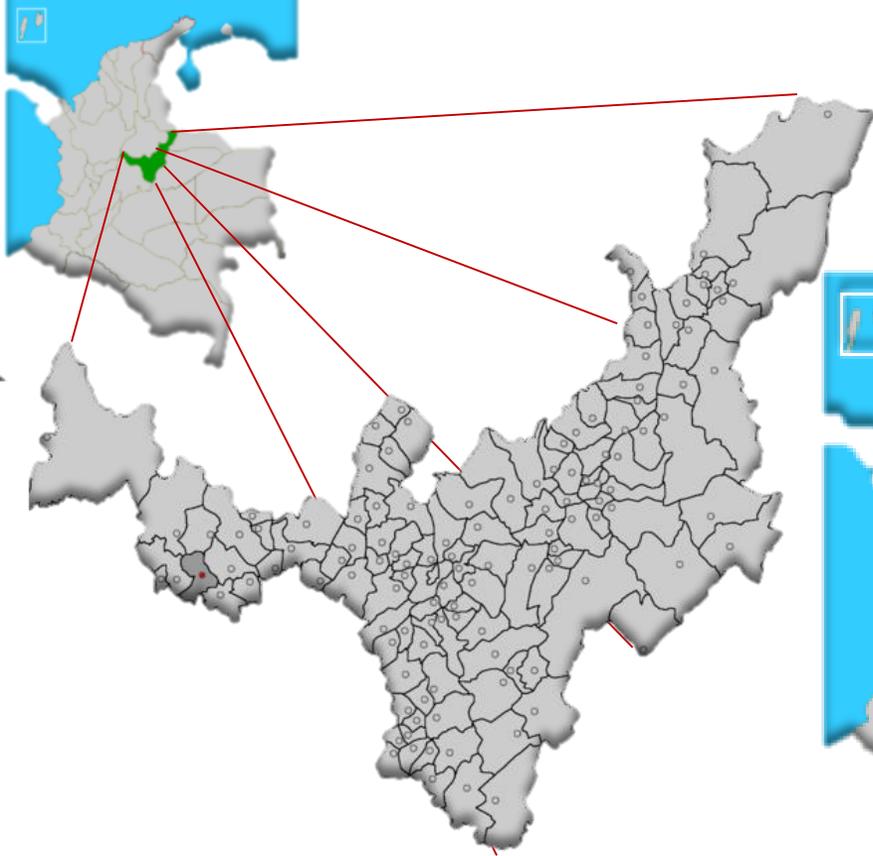
Destino de exportaciones

Productores



Porcentaje de participación en el mercado internacional (2015) 40%

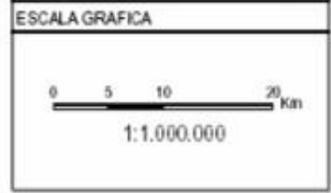
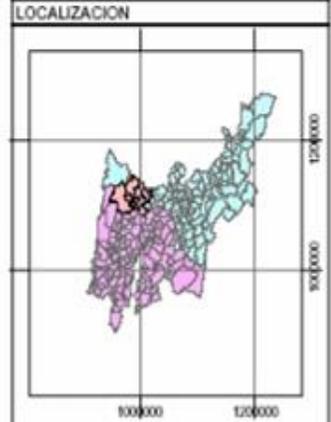
(SIMCO, 2015)



DISTRITOS MINEROS EN COLOMBIA  
 Distrito Minero Muzo DM-09

LEYENDA

- Distrito Minero 09
- Municipios Vecinos
- Límite Departamental



(UPME,2004)

## Ubicación Geográfica

# Justificación



- Mercado
- Ventaja competitiva
- Empresa

Económico

- Identificación de impactos ambientales en la cadena de valor
- Reducción en el potencial de afectación

Ecosistema

Usuarios

Stakeholders

Ecológico

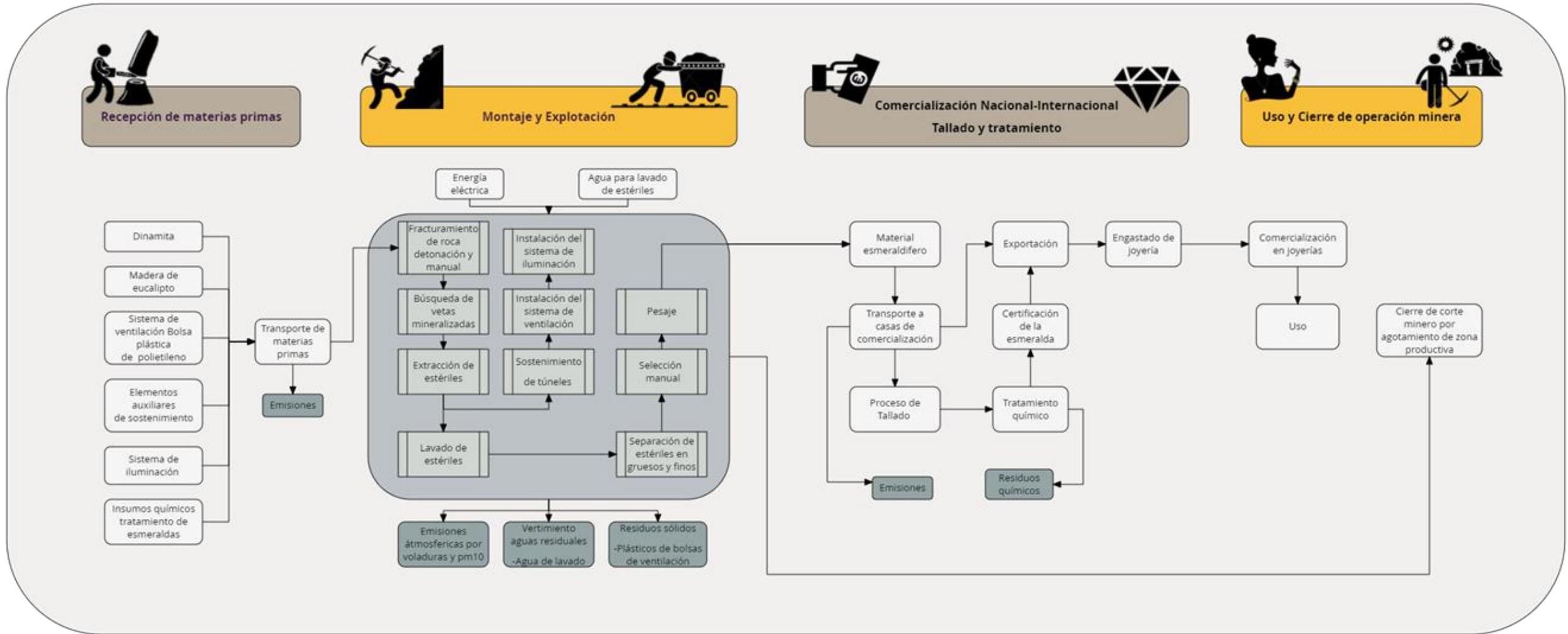


- Trabajador

Social

## Diseño metodológico

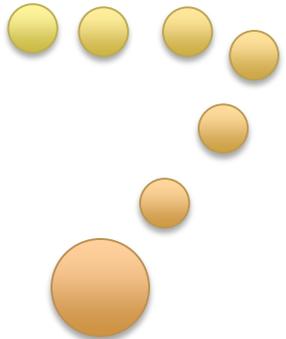




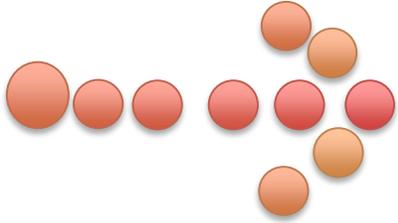
Fuente: Elaborado por autor

# Método

Metodología de la investigación



Revisión bibliográfica



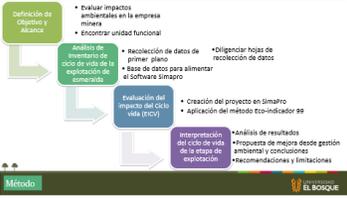
Secundaria Bases de datos  
Libros, artículos e informes



Selección de la metodología  
ISO 14040 de ACV

ISO 14040:2006

Identificación de necesidades de empresa y recolección de datos



## Definición de Objetivo y Alcance

- Evaluar impactos ambientales en la empresa minera
- Encontrar unidad funcional

## Análisis de Inventario de ciclo de vida de la explotación de esmeralda

- Recolección de datos de primer plano
- Base de datos para alimentar el Software Simapro
- Diligenciar hojas de recolección de datos

## Evaluación del impacto del Ciclo vida (EICV)

- Creación del proyecto en SimaPro
- Aplicación del método Eco-indicador 99

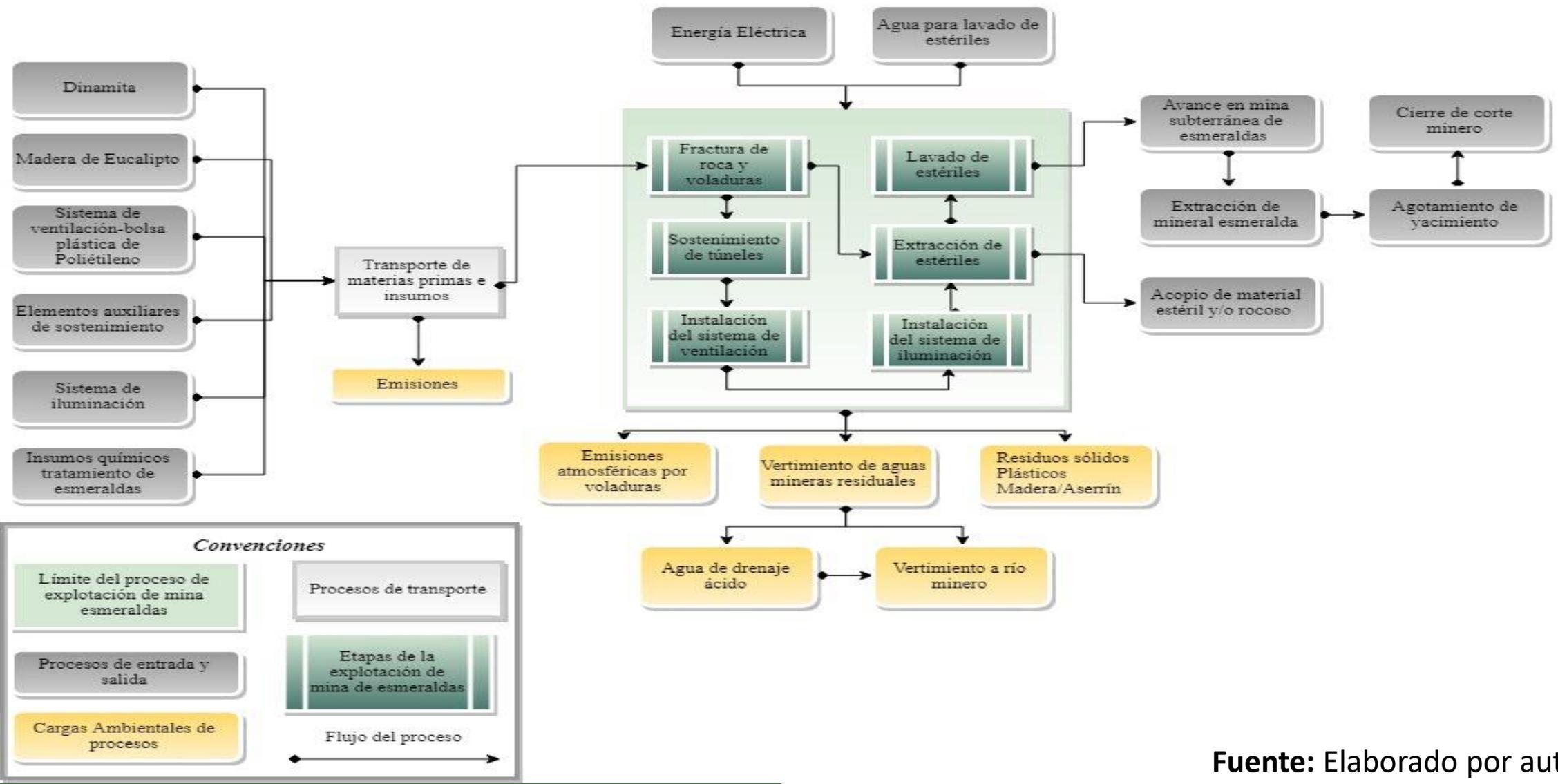
## Interpretación del ciclo de vida de la etapa de explotación

- Análisis de resultados
- Propuesta de mejora desde gestión ambiental y conclusiones
- Recomendaciones y limitaciones

# Resultados



I. Recepción de materias primas e insumos      **II. Proceso de explotación de mina de esmeraldas**      III. Cierre y abandono



Fuente: Elaborado por autor

## Objetivo

Generar estrategias desde la gestión ambiental para mitigar los impactos ambientales críticos en el Ciclo de Vida del proceso de explotación de la empresa de esmeraldas caso de estudio

## Alcance

1 Empresa esmeraldera ubicada en el distrito minero Muzo. Acuerdo de confidencialidad

Proceso de explotación, desde recepción de materias primas e insumos hasta el proceso de explotación

La metodología se basa en la ISO 14040

Se tomo información de dos cortes mineros

Se tuvo contacto directo con el dueño, administrativos y mineros de los cortes

Unidad funcional: 1m de avance en tunel

Se conto con asesoría externa del Ingeniero Glen Corder de la Universidad de Queensland y la compañía SimaPro Australia

# Análisis de Inventario de ciclo de vida de la explotación de esmeralda

## Factor de conversión

	Valor	Unidad
Equivalencia	1	Jornada de explotación (JE)
	2	Metros de avance (mA)
Factor de conversión	0,500	JE/mA

## 1. Datos de primer plano

### Procesos unitarios

Fracturamiento de Roca  
Lavado de estériles  
Sostenimiento de Túneles  
Instalación del sistema de ventilación  
Instalación del sistema de iluminación

### Procesos globales

Energía termoeléctrica  
Energía eléctrica  
Transporte

## Hoja de cálculo para el Inventario de Ciclo de Vida

	Cantidad	Unidad	Factor de conversión	Unidad	Cantidad con respecto a la unidad funcional	Unidad	Observaciones
Entradas							
Dinamita	10	kg/JE	0,500	JE/ mA	5	kg/ 1 mA	Una caja de 100 unidades de barras de dinamita pesa 25 kilogramos.
Energía Eléctrica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	La energía eléctrica se cuantificará para el proceso completo
Salidas							
Estériles	7020	kg/ JE	0,500	JE/ mA	3510	kg/ 1 mA	Según la empresa, se extraen 5,2 metros cúbicos de material rocoso por JE, con un peso aproximado de 1350 kg por metro cúbico
Emisiones	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Para el cálculo de las emisiones se requiere de un estudio isocinético, sin embargo se determinará una aproximación con el software SimaPro

Fuente: Elaborado por autor

## 2. Datos de fondo

### Modificación de procesos

Proceso en Simapro	Proceso modificado
Explosive, tovox {RoW}   production   Alloc Rec, U	Explosivo indugel
Electricity, high voltage {PE}   production mix   Alloc Rec, U	Electricity, high voltage CO

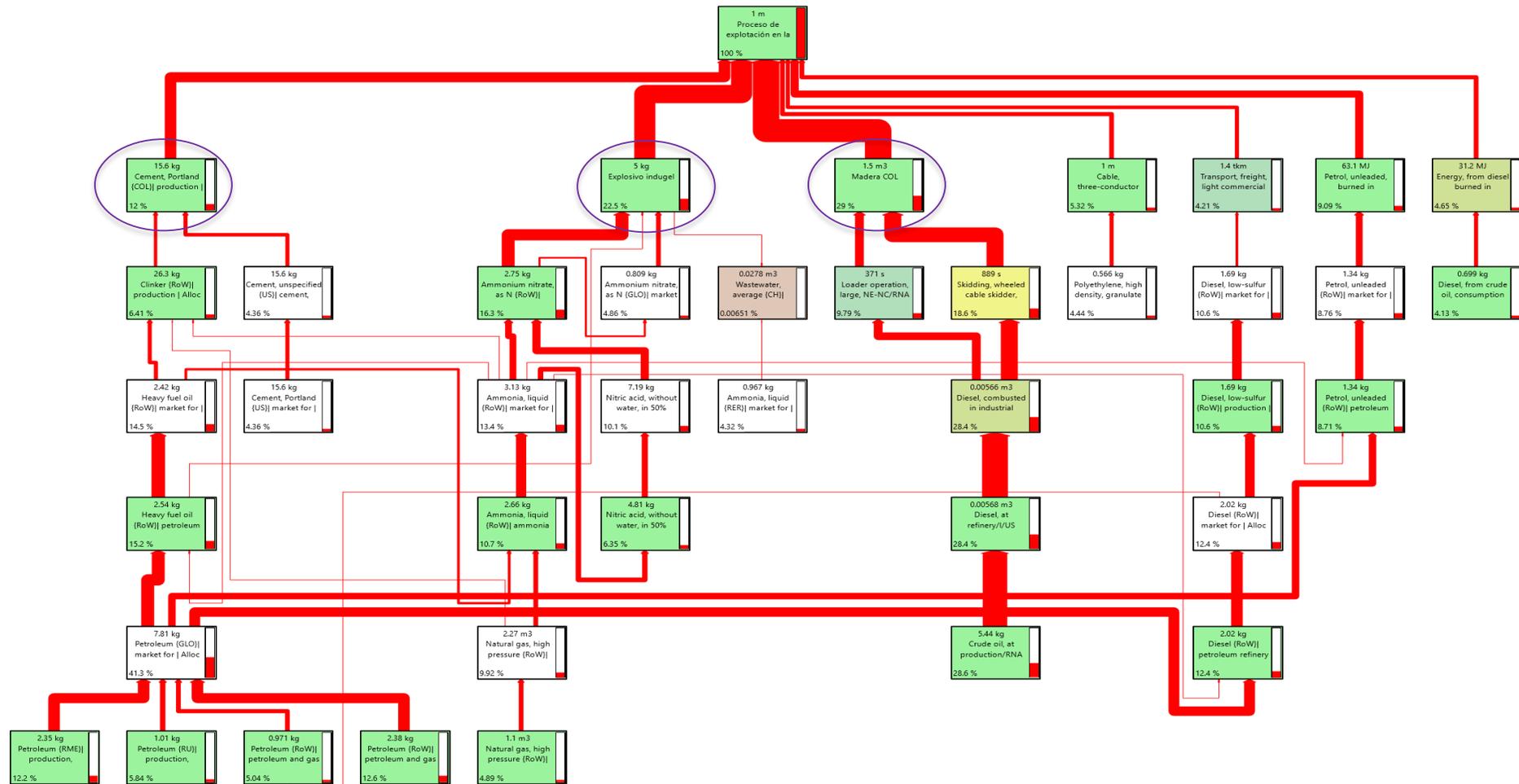
### Procesos creados y/o agregados

- Bombilla: Proceso creado con base a *“Life Cycle Assessment of Incandescent, Fluorescent, Compact Fluorescent and Light Emitting Diode Lamps in an Indian Scenario”* por Sangwan, Bahkar & Andrat (2014),
- Extracción { Ocupación área industrial: 15.000 m<sup>2</sup>  
Transformación de sitio de extracción minero a explotación minera: 1.5 m<sup>2</sup>
- Salidas al agua: Drenajes Ácidos de Mina
- Salidas al suelo



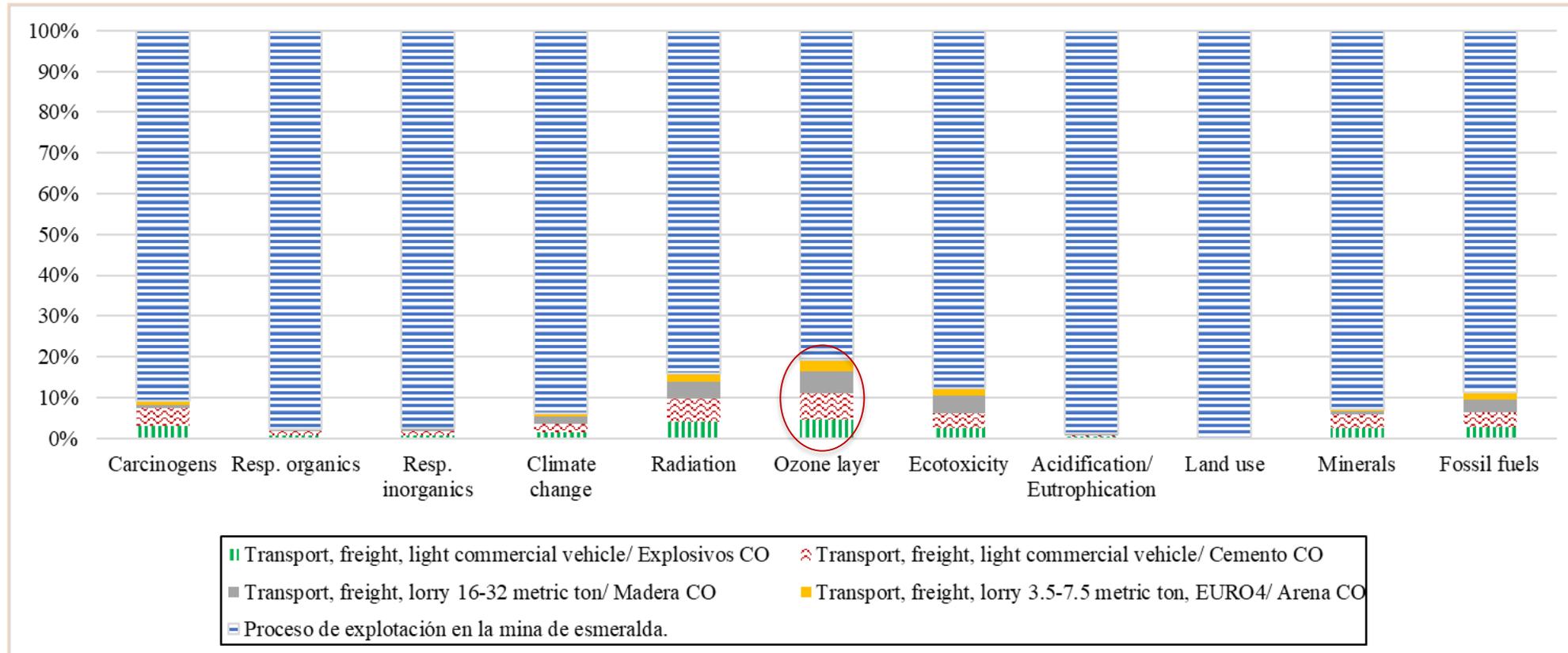
# Evaluación del impacto de vida de la esmeralda (EICV)

## Red de procesos de la explotación de minería

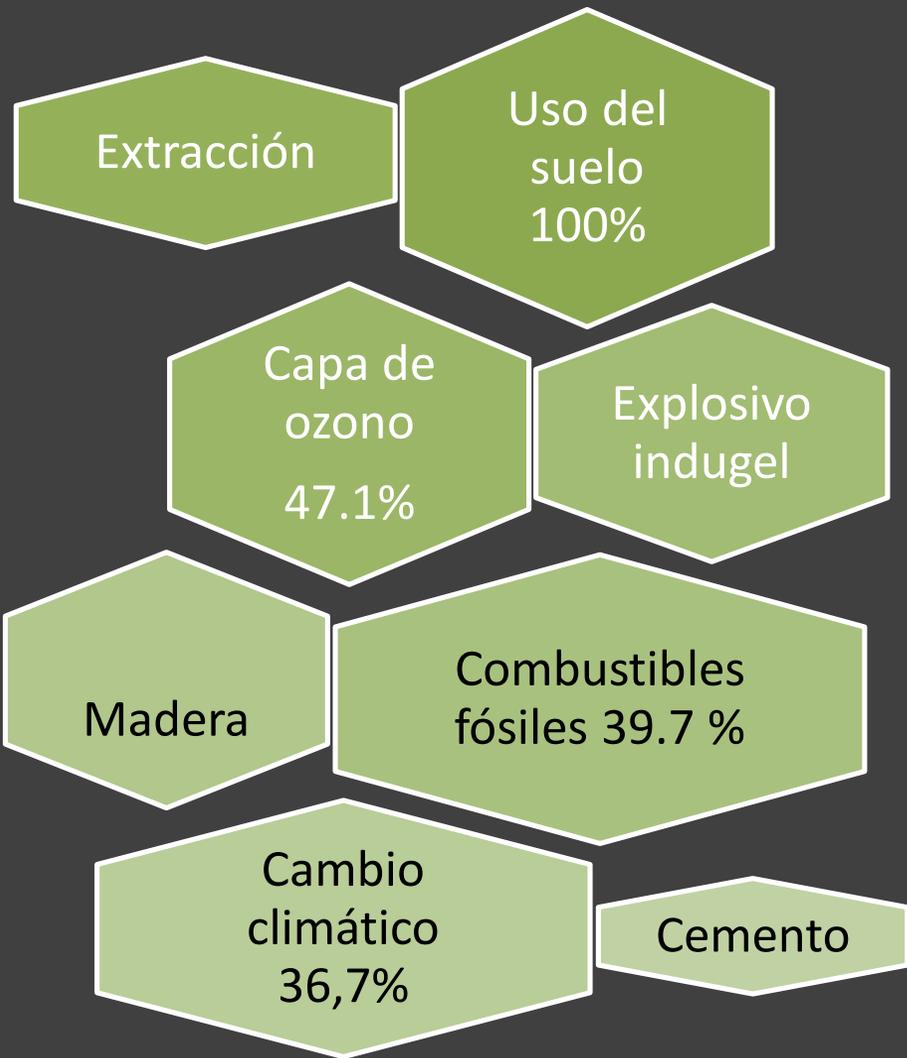


Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

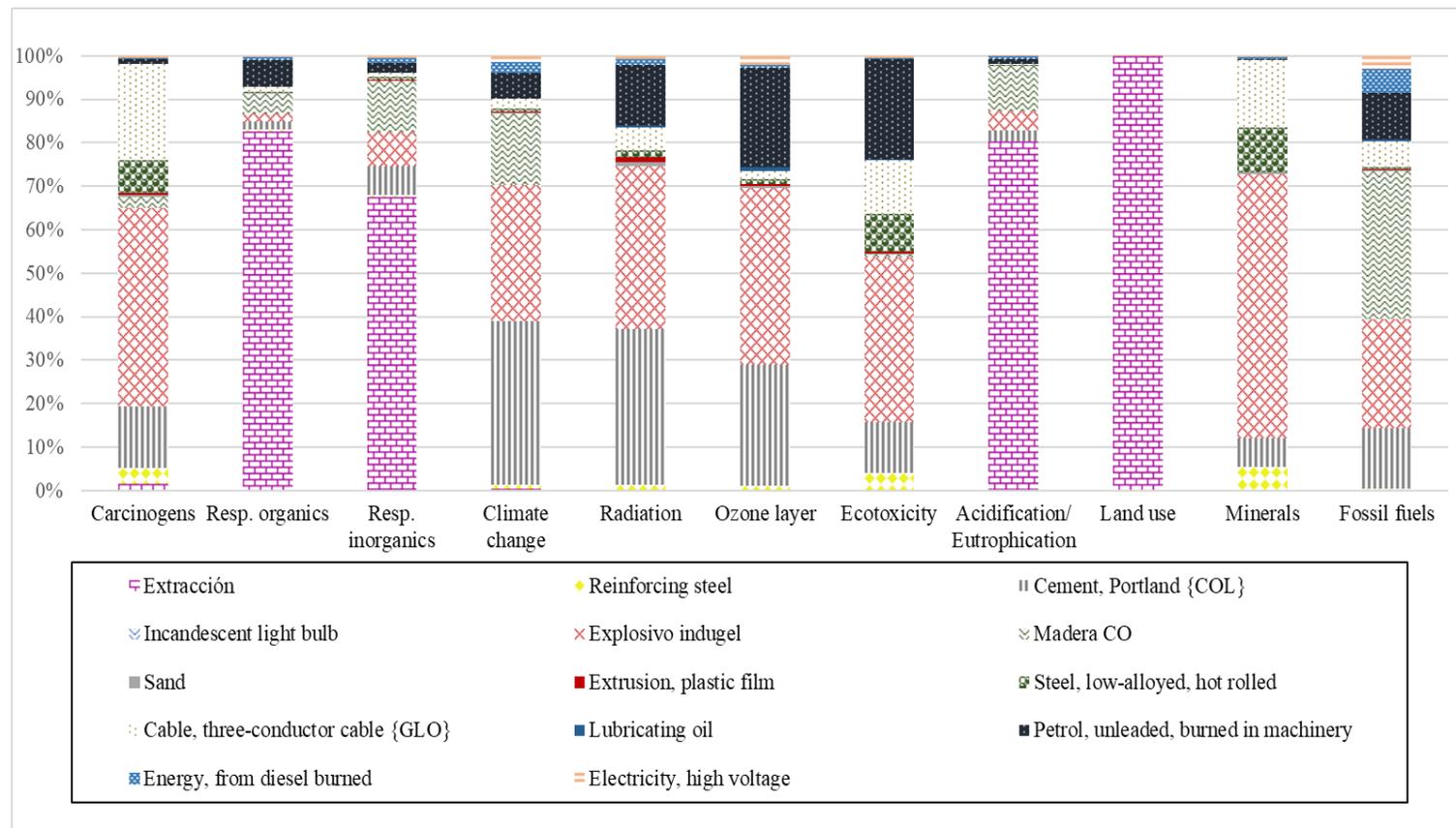
- Caracterización de la EICV de la explotación de la mina de esmeraldas



Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro



• Caracterización del proceso de explotación de la mina de esmeralda

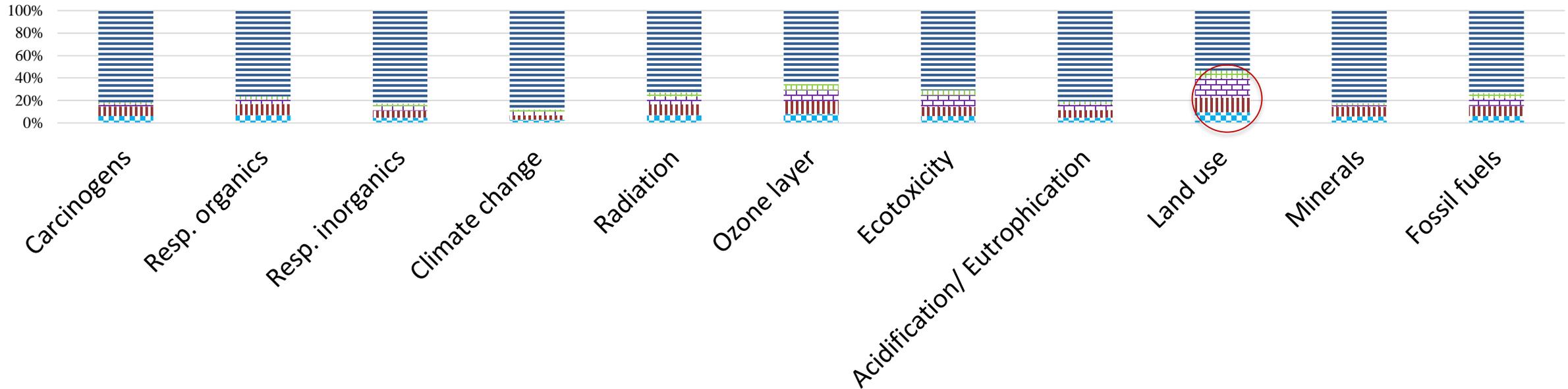


Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

- Análisis de sensibilidad

✓ Se excluyen extracción, explosivo indulgel y madera

*Análisis de sensibilidad del Ciclo de vida en la explotación de la mina de esmeralda*



≡ Proceso de explotación en la mina de esmeralda,

≡ Transport, freight, lorry 16-32 metric ton/ Madera CO

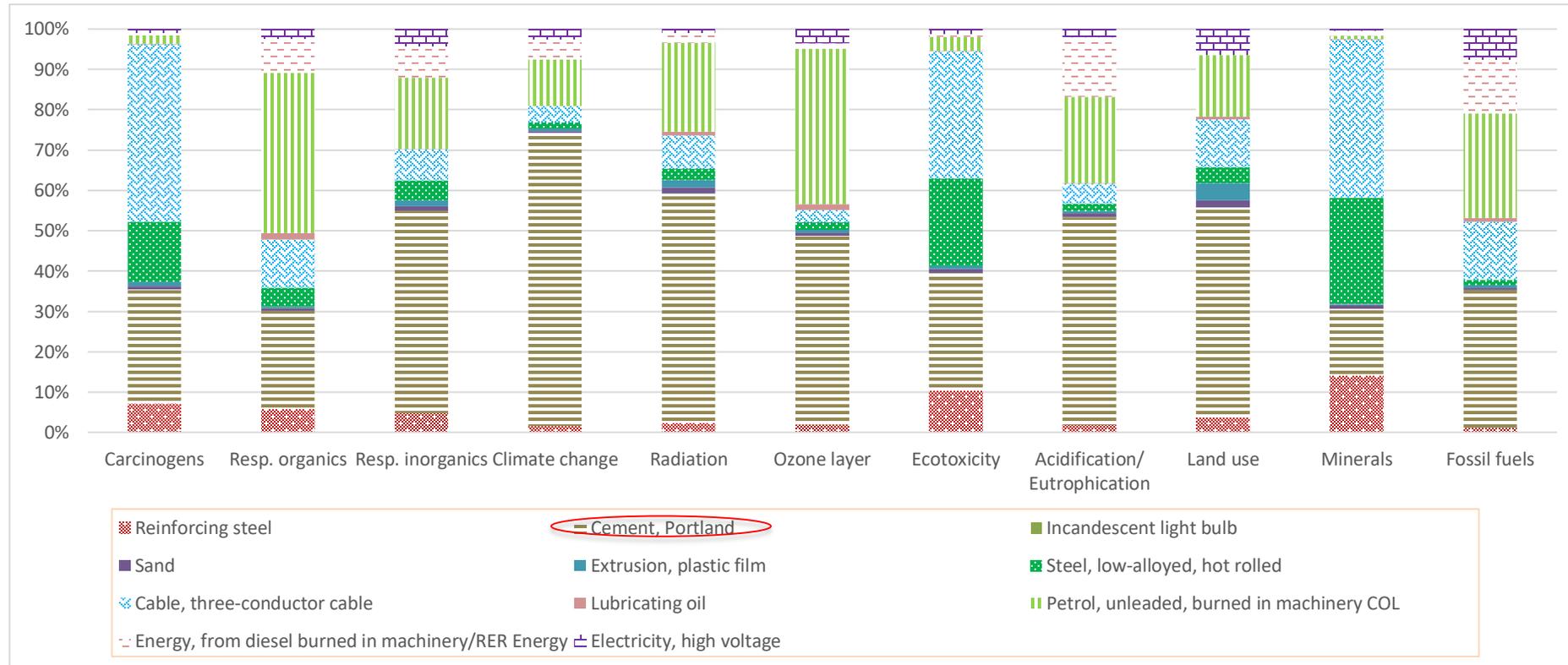
≡ Transport, freight, light commercial vehicle/ Explosivos CO

≡ Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4/ Arena CO

≡ Transport, freight, light commercial vehicle/ Cemento CO

**Fuente:** Elaborador por Autor en el software SimaPro

## Análisis de sensibilidad del proceso de explotación de la mina de esmeralda



Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

# Interpretación del ciclo de vida

Proceso extracción no se contempla

## Propuestas de mejora

Explosivo  
Indugel



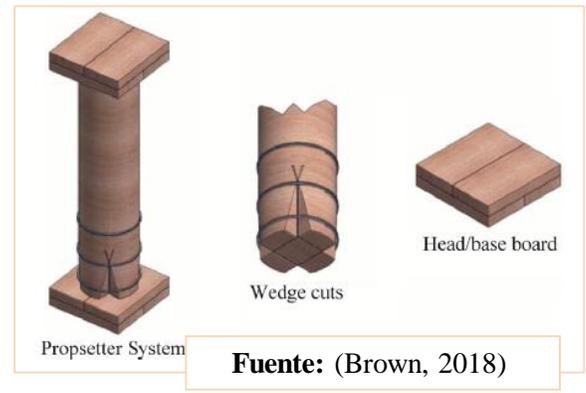
Madera



Madera plástica



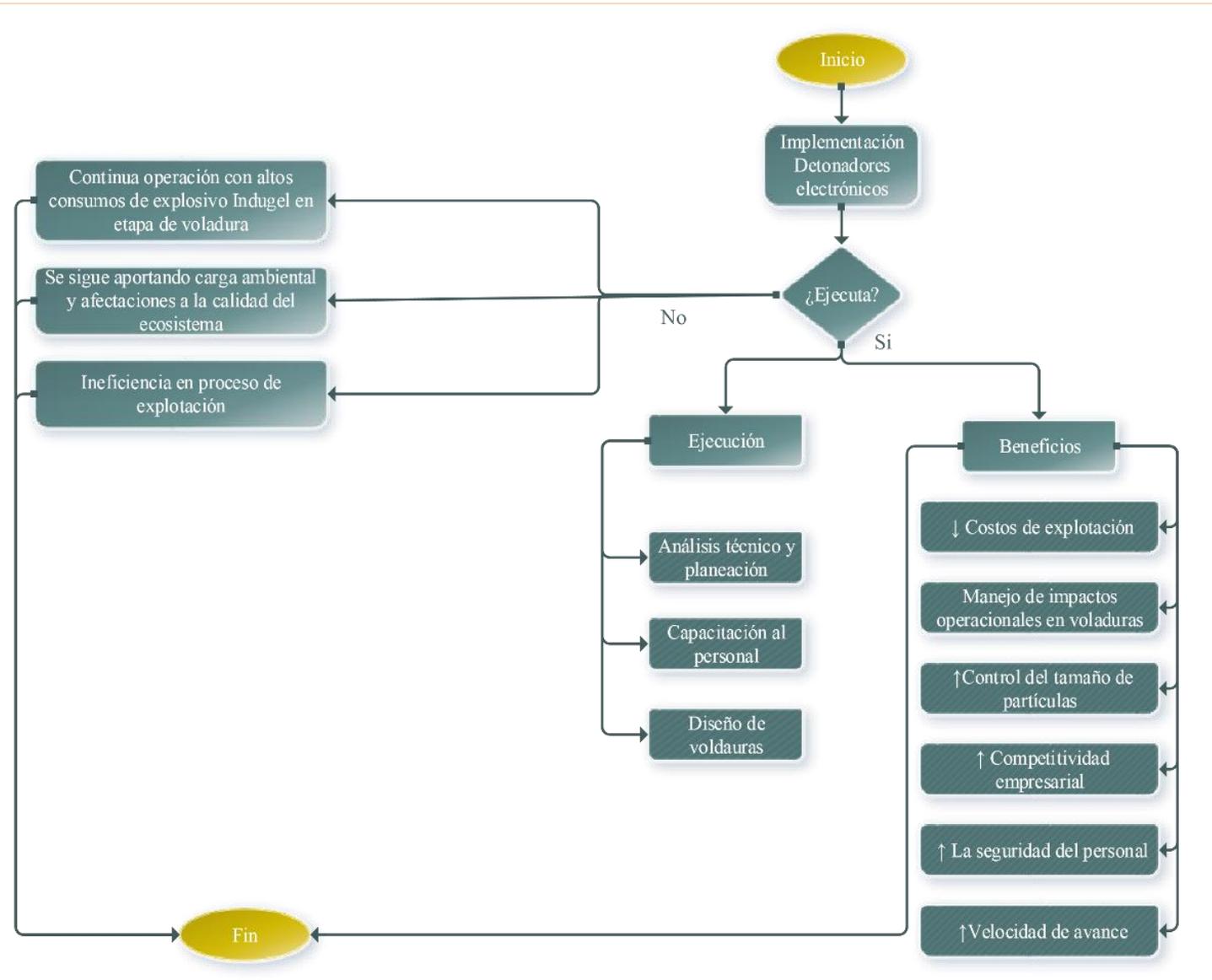
Diseño de Madera rolliza con modelo Propsetter



Fuente: (Brown, 2018)

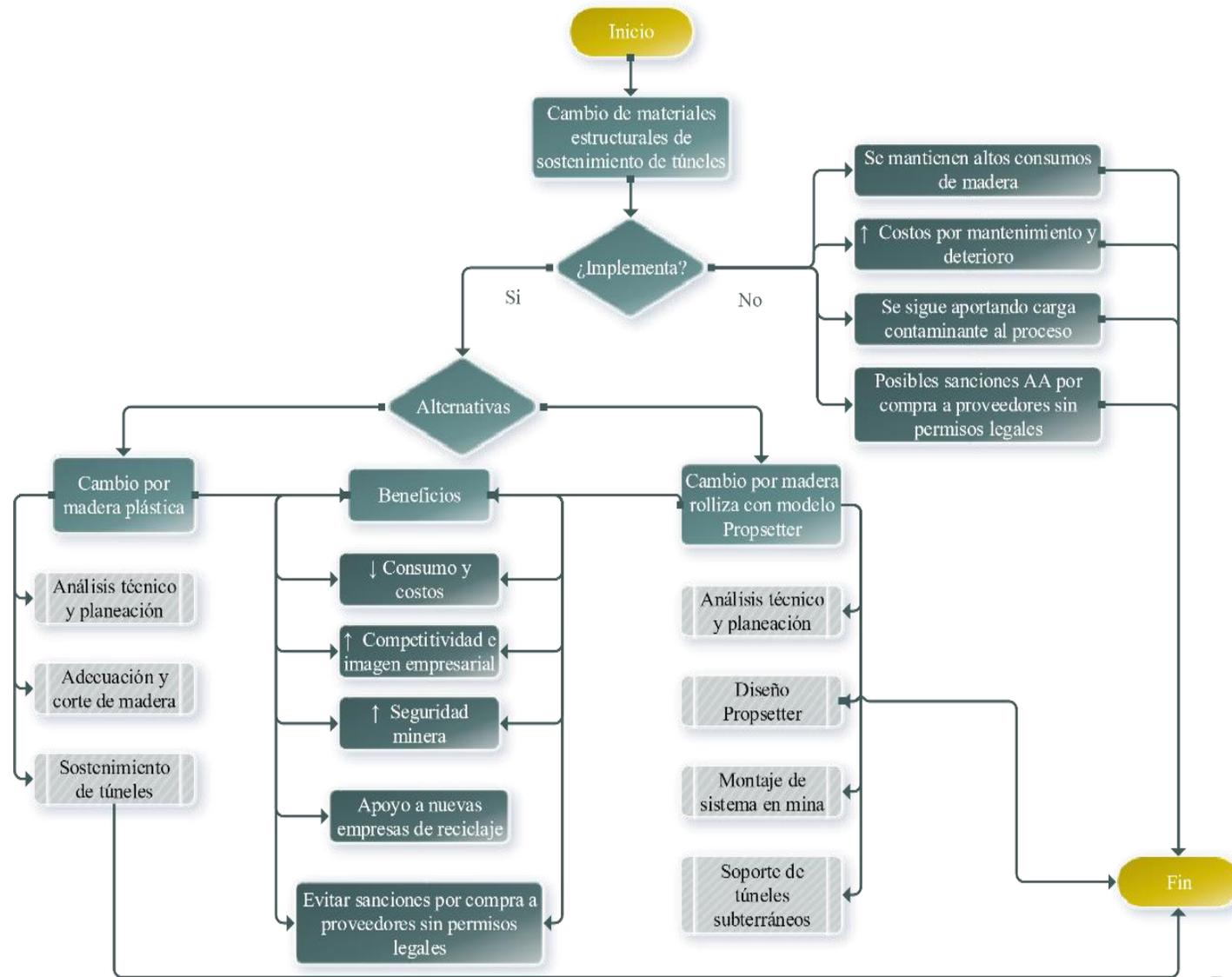


# Escenario de cambio tecnológico para la detonación electrónica



Fuente: Elaborado por autor

# Escenario de cambio tecnológico para la madera

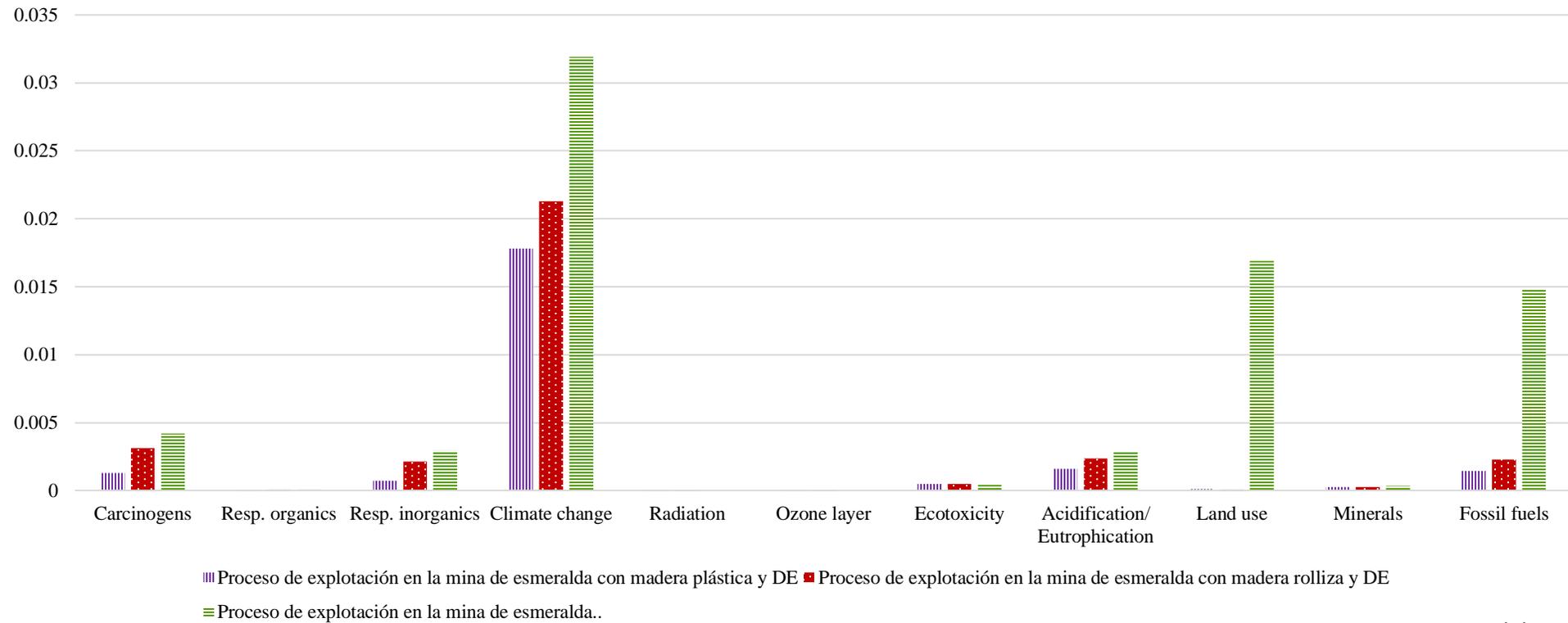


Fuente: Elaborado por autor

## Simulación de escenarios con propuestas tecnológicas

- Madera rolliza y Detonador Electrónico
- Madera plástica y Detonador Electrónico

### *Análisis comparativo entre los tres procesos*



Fuente: Elaborado por autor

# Análisis financiero

## Presupuesto de inversión de las propuestas

Propuestas Tecnológicas				
Propuestas	Cantidad anual	Ud	Valor unitario	Valor total
Propuesta 1. Detonador electrónico				
eDev II detonadores (cajas de 40 ud)	12,2	Cajas	\$ 1.627.384	\$ 19.854.080
Blast Box 610	1	Equipo (se compra una vez)	\$ 11.675.913	\$ 11.675.913
eDev™ II Tester	1	Equipo (se compra una vez)	\$ 5.101.952	\$ 5.101.952
Scanner 260	1	Equipo (se compra una vez)	\$ 9.417.771	\$ 9.417.771
Subtotal				\$ 46.049.715
Propuesta 2. Madera plástica				
Madera plástica	3025	Postes	\$ 3.285	\$ 9.937.125
Transporte	24	Viajes	\$ 1.300.000	\$ 31.200.000
Subtotal				\$ 41.137.125
Propuesta 3. Madera rolliza con modelo Propsetter				
Madera rolliza	1220	Postes	\$ 40.000	\$ 48.800.000
Base de madera	3	Metros cúbicos	\$ 1.284	\$ 626.592
Alambre de acero	1806	Metros	\$ 1.652	\$ 2.983.512
Transporte	24	Viajes	\$ 1.884.656	\$ 45.231.750

Comparación	
Insumo	Costo Anual
Explosivo Indugel	\$ 57.420.000
Detonador electrónico	\$ 46.049.715
Diferencia con DE	\$ 11.370.285
Madera eucalipto	\$ 60.500.000
Transporte madera eucalipto	\$ 45.231.750
Subtotal	\$ 105.731.750
Madera plástica	\$ 9.937.125
Transporte madera plástica	\$ 31.200.000
Subtotal	\$ 41.137.125
Diferencia Madera plástica (MP)	\$ 64.594.625
Madera rolliza y Propsetter	\$ 52.410.104
Transporte madera rolliza	\$ 45.231.750
Subtotal	\$ 97.641.854
Diferencia con madera rolliza y Propsetter (MRP)	\$ 8.089.896

*Comparación económica entre los insumos empleados en la operación del 2017 y las propuestas presentadas*

Fuente: Elaborado por autor

• Análisis de conveniencia económica de inversiones proyectado a 10 años

Indicador	Valor
VPN	\$ 43.575.534
TIR	12%
PR	4,1

Años	Proyección de costos actuales										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Explosivo Indugel	\$ 57.420.000	\$ 59.429.700	\$ 61.509.740	\$ 63.662.580	\$ 65.890.771	\$ 68.196.948	\$ 70.583.841	\$ 73.054.275	\$ 75.611.175	\$ 78.257.566	\$ 80.996.581
Madera de Eucalipto	\$ 105.731.750	\$ 109.432.361	\$ 113.262.494	\$117.226.681	\$121.329.615	\$125.576.152	\$ 129.971.317	\$134.520.313	\$ 139.228.524	\$ 144.101.522	\$149.145.076

Años	Proyección de diferencias (disminución de costos)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Proyección de diferencia con DE+MP	\$ 75.964.910	\$ 78.623.682	\$ 81.375.511	\$ 84.223.654	\$ 87.171.481	\$ 90.222.483	\$ 93.380.270	\$ 96.648.580	\$ 100.031.280	\$ 103.532.375	\$107.156.008
Proyección de diferencia con DE+MRP	\$ 19.460.181	\$ 20.141.287	\$ 20.846.232	\$ 21.575.851	\$ 22.331.005	\$ 23.112.590	\$ 23.921.531	\$ 24.758.785	\$ 25.625.342	\$ 26.522.229	\$ 27.450.507

Fuente: Elaborado por autor

El insumo Extracción de la categoría de impacto uso del suelo no se contempla.

Mangena & Brent (2006), la carga ambiental generada en el grupo de recursos del suelo puede ser de un valor insignificante para la industria minera.

El insumo Agua no muestra carga ambiental en ninguna de las categorías de impacto

SimaPro no contempla en sus bibliotecas información necesaria acerca de impactos sobre el agua

Consumo de Diesel en maquinaria para en el proceso madera toma el 29.6 % en la categoría de impacto combustibles fósiles

Hélio & García (2015) , sugiere la adopción de un mayor uso de biodiésel como alternativa para minimizar el “cambio climático” y los impactos del “consumo de combustibles fósiles”.

Para el ICV se asumieron algunas variables las cuales hacen resaltar algunos puntos débiles del método

(Hernández & Rieznik, 2015; Erkayaoglu & Demirel, 2016), Asumieron algunos datos para obtener una información completa de sus procesos y alimentar los requerimientos del ICV.

ACV permitió visualizar los impactos y mejoras de esta actividad permitiendo proponer estrategias tecnológicas de gestión ambiental que contribuyan a mejorar el desempeño ambiental de la empresa

***Application of life cycle assessment in the mining industry*** by Adekpedjou & Awuah, (2010).

- Alta carga ambiental en categoría de impacto uso de suelo
- Madera, la carga ambiental 29% en todo el CV del proceso de explotación (combustible Diesel)
- Explosivo Indugel, la carga ambiental con 22.5% se deriva de los procesos de producción del nitrato de amonio
- Cemento, su carga ambiental 12% , producción de Clinker requiere de altos consumos de combustible
- Al excluir Extracción, Explosivo y Madera, aumenta cargas en cemento y gasolina, así como el proceso de transporte

Las propuestas Detonador Electrónico y Madera plástica cumplen con las necesidades de la empresa

- ✓ Ahorro de aproximadamente 76 millones de pesos
- ✓ Disminuye mas del 2 % en las categorías de impacto Cambio climático e insumos fósiles
- ✓ Disminuye en la categoría de impacto sustancias inorgánicas

→ Mejora en sus aspectos ecológicos y responsabilidad social

## Recomendaciones



- Calcular huella hídrica y muestreo para determinar la presencia de drenaje ácido de mina.
- Realizar estudio de emisiones al aire y un estudio epidemiológico entre los trabajadores  
Evaluar la rentabilidad de las propuestas con un análisis financiero más detallado considerando otros indicadores de viabilidad económica.
- Evaluar la rentabilidad de las propuestas con un análisis financiero más detallado considerando otros indicadores de viabilidad económica.

## Limitaciones



- Difícil acceso a toda la información para el ICV  
Incertidumbres: Algunas bases de datos del software tuvieron que ser copiadas y modificadas para la adaptación de la información en el contexto de la minería en Colombia.
- Acuerdo de confidencialidad: Información económica débil de la empresa debido a políticas de seguridad

# Bibliografía

- Adekpedjou, K., & Awuah, A. (2010). Application of life cycle assessment in the mining industry. En *Life Cycle Assess*, 16(1). (págs. 82-89). doi:10.1007/s11367-010-0246-6.
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina: generación y tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Aniés, J., & Perramón, T. (2017). *Seguridad y salud frente a las radiaciones ionizantes*. Madrid: Asepeyo.
- Barczak, T. (2010). *A RETROSPECTIVE ASSESSMENT OF LONGWALL ROOF SUPPORT WITH A FOCUS ON CHALLENGING ACCEPTED ROOF SUPPORT CONCEPTS AND DESIGN PREMISES*. Obtenido de Center for disease Control and Prevention (CDC): <https://www.cdc.gov/niosh/mining/userfiles/works/pdfs/araol.pdf>
- Bolivar, R., & Garcia, J. (2015). A Technical and Environmental Study of Fortified Structures Used in Coal Mining in Norte de Santander. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(38), 107-116.
- Brown, C. (2018). Development process for a higher capacity Propsetter system. *International Journal of Mining Science and Technology* 28, 121-126.
- Bundschuh, J., & Litter, M. (2008). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. En *Formas presentes de arsénico en agua y suelo* (págs. 5-27). Cyted.
- Campos, R., & Christiansen, P. (2010). *Estudio comparativo de tres métodos de corte y trozado de Arboles con relación al grado de dureza* . Obtenido de <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/viewFile/836/859>
- Córdova, J. (2015). Diseño de programa de seguridad y salud ocupacional en riesgo químico por gases producto de la voladura en la pequeña minería: caso de estudio empresa minera Bursal. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/21121>
- De la Rosa, J. (2008). Contaminación Atmosférica de Material Particulado Provocada por la Extracción Minera. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 85-88.

GSIA. (2016). *Global sustainable investment review*. Obtenido de USSIF (The forum for Sustainable and Responsible Investment): [https://www.ussif.org/files/Publications/GSIA\\_Review2016.pdf](https://www.ussif.org/files/Publications/GSIA_Review2016.pdf)

Indumil. (2016). *Fabrica de explosivos antonio ricaurte INDUSTRIA MILITAR DE COLOMBIA*. Obtenido de Indumil Colombia: <https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2016/02/Productos-Fexar.pdf>

Itten, F. &. (2014). Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and grid.

Kurczewski, Lewandowska, & Witczak. (2017). *Green marketing today – a mix of trust, consumer participation and life cycle thinking*. Obtenido de Walter de Gruyter: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/manment.2017.21.issue-2/manment-2017-0003/manment-2017-0003.pdf>

Lillo, J. (sf). *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas*. Castilla: GEMM.

Londoño, P., Muñoz, F., & Londoño, L. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 14(2), 145-153.

Lubin, & Esty. (2010). The sustainability imperative: Lessons for leaders from previous game-changing megatrends. Harvard Business Review.

McCartney, C. (1995). The design and application of propsetter in underground coal mines. In: Proceedings of the 14th international conference on ground control in mining. Morgantown. WV: West Virginia University, 1-13.

MinAgricultura. (Enero de 2015). *COLOMBIA: Potencial de Reforestación Comercial*. Obtenido de MinAgricultura: <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Potencial%20de%20Reforestacio%CC%81n%20Comercial%20en%20Colombia.pdf>

MinAmbiente. (2016). *Estudio de estimación y caracterización del consumo de madera en los sectores de vivienda y grandes obras de infraestructura*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza\\_forestal\\_2/11.\\_Estudio\\_de\\_Estimacion\\_y\\_caracterizacion\\_del\\_consumo\\_de\\_madera.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza_forestal_2/11._Estudio_de_Estimacion_y_caracterizacion_del_consumo_de_madera.pdf)

Novazo, N. &. (2003). *CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES ATMOSFÉRICOS EN ÁREAS INDUSTRIALES*. Bilbao: Universidad del país Vasco.

OMS. (Abril de 2016). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*. Obtenido de Centro de prensa: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>

Orica. (2018). *Orica Mining Services*. Obtenido de eDev II - The Next Generation: [http://www.oricaminingservices.com/cu/es/page/products\\_and\\_services/electronic\\_blasting\\_systems/product\\_type\\_e\\_dev\\_ii/e\\_dev\\_ii/e\\_dev\\_ii\\_-\\_the\\_next\\_generation](http://www.oricaminingservices.com/cu/es/page/products_and_services/electronic_blasting_systems/product_type_e_dev_ii/e_dev_ii/e_dev_ii_-_the_next_generation)

PRé Consultants. (2014). *What's new in SimaPro 8.0.4* . Obtenido de Pre-sustainability.com: <https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro804WhatIsNew.pdf>

REXCO. (Marzo de 2013). *PLAN DE EXPORTACIÓN DE MADERA PLÁSTICA HACIA EL PERÚ PRODUCTO DE LA EMPRESA REXCO S.A.S*. Obtenido de <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/001/2120/1/Plan%20exportadorde%20REXCO%20II.pdf>

Sangwan, Bahkar, & Andrat, N. &. (2014). Life Cycle Assessment of Incandescent, Fluorescent, Compact Fluorescent and Light Emitting Diode Lamps in an Indian Scenario. *21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 467- 472.

Silva, Lahr, & &, P. (2014). LCA case study of sugarcane bagasse addition to particle board manufacturing. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1767-1778.

Steyn, A. (2017). The Benefits of using electronic detonators in both opencast and undergrounds mines . En Pradeep, Singh, Singh, & K. & Roy, *NexGen Technologies for Mining and Fuel Industries (Volume I and II)* (págs. 291-298). Johannesburg, South Africa: Allied Publishers.

Thornton, L. (1996). Impacts of mining on the environment; some local, regional and global issues. *Applied Geochemistry*, 351-361.

TMFB. (2014). *Dureza de la Madera, Metodo Monnin*. Obtenido de [https://tmolduras-fbermejo.es/pdfmaderas/p\\_dureza.pdf](https://tmolduras-fbermejo.es/pdfmaderas/p_dureza.pdf)

Torres, F., Gozales, C., & Tapia, W. (2009). Aplicación del sistema electrónico eDev II en voladuras subterráneas: En Minera Suyamarca Unidad Pallancata. *Seguridad Minera*, 48-56. doi:ISBN 978-987-24878-9-8

Tovar. (2013). *ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES GENERADOS POR LA MINERÍA DE ARCILLAS A CIELO ABIERTO EN LA VEREDA EL MOCHUELO BAJO, CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ D.C., ESTUDIO DE CASO*. Obtenido de [javeriana.edu.co](http://javeriana.edu.co):

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12467/GarzonTovarLigiaNathalya2013.pdf;sequence=1>

UPME. (2016). *PROYECCIÓN DE DEMANDA COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN COLOMBIA*. Obtenido de [sipg.gov.co](http://www.sipg.gov.co): <http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/Proyecciones/2016/Proyeccio%CC%81nDemandaL%C3%ADquidos-Rev2016.pdf>

Watanabe. (2013). *Explosivos - tipos y propiedades*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, Escuela Académico Profesional De Ingeniería Geológica: <http://www.monografias.com/trabajos83/explosivos-tipos-y-propiedades/explosivos-tipos-y-propiedades.shtml>

AFP & CONtexto ganadero. (21 de 10 de 2015). *Las esmeraldas de Colombia limpian su reputación*. Obtenido de [Contextoganadero](http://www.contextoganadero.com): <http://www.contextoganadero.com/regiones/las-esmeraldas-de-colombia-limpian-su-reputacion>

Álvarez, B. (2014). Análisis de ciclo de vida social en la exploración aurífera a cielo abierto: estudio de caso en el proyecto la Colosa-Cajamarca, (Tolima). *Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia*.

Andrews, K. R. (1971). *The Concept of Corporate Strategy, Burr Ridge, IL: Dow-JonesIrwin*.

AnglogoldAshanti; Gramalote-Colombia Limited. (2015). Obtenido de <http://www.anglogoldashanti.com.co/saladeprensa/Reportes/Estudio%20de%20impacto%20ambiental%202015%20Proyecto%20Minero%20Gramalote.pdf>

Aniés, J., & Perramón, T. (2017). *Seguridad y salud frente a las radiaciones ionizantes*. Madrid: Asepeyo.

Antero, J., & Ramírez, V. (2013). Evolución de la Normatividad Ambiental Colombiana en Función de las Tendencias Mundiales de Desarrollos Sostenible. Revista NOOS.Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. *Facultad de Ciencias Exactas, Vol. 3, 3*.

Aragón, A., & Sharma, S. (2004). *Gestión Medioambiental Proactiva: Validación de un Instrumento de Medida*. Obtenido de [http://www.pymesonline.com/uploads/tx\\_icticontent/R01668\\_proactiva.pdf](http://www.pymesonline.com/uploads/tx_icticontent/R01668_proactiva.pdf)

Arana, G., Arbulo, P., Basurto, P., & Landeta, B. (2013). *Análisis de los efectos de la adopción de estándares de ecodiseño en el rendimiento empresarial de los estudios de Arquitectura*. España: ISSN: 0012-7353.

Aranda, J., & Zabalza, I. (2010). Ecodiseño y análisis de ciclo de vida. En *Prensas Universitarias de Zaragoza*. (págs. 17-18). Zaragoza: ISBN: 978-84-92774-951.

Arango Aramburo, M., & Olaya, Y. (2012). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. . *Gestión y Ambiente* , 125-133.

Austinpowder . (2017). *Electric & Electronic Detonators Safety Data Sheet*. Obtenido de COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS : [http://www.austinpowder.com/blasters\\_guide/4-SDS\\_Catalog.pdf](http://www.austinpowder.com/blasters_guide/4-SDS_Catalog.pdf)

Avellaneda, J. (2013). *Aproximación a la historia ambiental de la minería en Boyacá.* .

Azapagic, A., Lehtinen, H., Pitts, M. R., & Saarentaus, A. (2011). *A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs.* . Europe INNOVA.

Azapagic, Lehtinen, Rouhiainen, P., & Saarentaus. (2011). *A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs.* Obtenido de biochem-project.eu: [http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA\\_review.pdf](http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.pdf)

Banco de la República. (09 de 04 de 2018). *Boletín de Indicadores Económicos.* Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/bie.pdf>

Barczak, T. (2010). *A RETROSPECTIVE ASSESSMENT OF LONGWALL ROOF SUPPORT WITH A FOCUS ON CHALLENGING ACCEPTED ROOF SUPPORT CONCEPTS AND DESIGN PREMISES.* Obtenido de Center for disease Control and Prevention (CDC): <https://www.cdc.gov/niosh/mining/userfiles/works/pdfs/araol.pdf>

Barón, M., & Gutiérrez, F. (2008). Órdenes subsidiarios: Coca, esmeraldas: la guerra y la paz. . *Colombia Internacional,*, 102-129.

Belmonte, L., Burgos, J., & Plaza, J. (2011). *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa. Grupos de interés, gestión ambiental y resultado empresarial: una propuesta integradora.* . España: S.L.

Botín, J. (2010). La Responsabilidad Social Corporativa, su significado en minería y su integración en el día-a-día de las operaciones. 30-35.

Brown, C. (2018). Development process for a higher capacity Propsetter system. *International Journal of Mining Science and Technology* 28, 121-126.

Bundschuh, J., & Litter, M. (2008). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. En *Formas presentes de arsénico en agua y suelo* (págs. 5-27). Cyted.

Camargo, P., & Chiappetta, C. (2017). Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going. *International Journal of Information Management*, 241-249.

Carmona, E., & Magán, A. (2008). La Estrategia Ambiental: Definición y Tipologías. Management.

Centro Australiano para Prácticas de Minería Sostenible & Austrade. (2011). *Guía para el Desarrollo Sostenible en Minería*. Sidney, New South Wales, Australia. Obtenido de austrade.gov.au: [https://www.austrade.gov.au/.../FINAL\\_SUSTAINABLE%20MINING\\_ESPANOL.pdf](https://www.austrade.gov.au/.../FINAL_SUSTAINABLE%20MINING_ESPANOL.pdf).

CEPAL. (2011). *La sostenibilidad del desarrollo a 20 años de la Cumbre para la Tierra*. Recuperado el 12 de 12 de 2015, de Avances, brechas y lineamientos estratégicos para América Latina y el Caribe: <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2011/08958.pdf>

Chacón. (2008). Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV) Con una bibliografía selecta. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 72.

Collis, D., & Montgomery, C. (2007). Estrategia corporativa: un enfoque basado en los recursos. En *Introducción a la Estrategia Corporativa* (págs. 3-10). Madrid: MCGRAW-HILL.

Colombia, E. (2016). *Esmeralda Colombia Beta Esmeraldifera del Mundo*. Obtenido de <http://www.esmeraldacolombia.com/script/esmeraldas.php?lang=es>

Constitución Política de Colombia. (1991). *Gaceta Constitucional número 114*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>

Contraloría General de la Nación. (07 de 2012). *Informe del estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*. Obtenido de <http://www.contraloriagen.gov.co>

Córdova, J. (2015). Diseño de programa de seguridad y salud ocupacional en riesgo químico por gases producto de la voladura en la pequeña minería: caso de estudio empresa minera Bursal. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/21121>

CORPOCHIVOR. (2014). *Manual para la Producción más Limpia de la Explotación de Esmeraldas*. Chivor, Oriente de Boyacá, Colombia: G. (Colombia), Ed. .

Corrie, C., Jimenez, A., & Nava, V. (2002). ISO 9000:2000 : estrategias para implantar la norma de calidad para la mejora continua. Mexico: Mexico: Limusa. Retrieved from ISO 9000:2000 : estrategias para implantar la norma de calidad para la mejora continua.

Curran. (2012). Lyfe Cycle Assesmet Handbook. A guide for environmentally sustainable products. . USA.

DANE. (2005). *Boletín Censo General. Perfil Muzo-Boyacá*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística : <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/boyaca/muzo.pdf>

DANE. (2005). *Boletín, Censo General 2005. Perfil Quípama-Boyacá*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/boyaca/quipama.pdf>

De la Rosa, J. (2008). Contaminación Atmosférica de Material Particulado Provocada por la Extracción Minera. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 85-88.

Díaz, M. (2014). *Análisis de Ciclo de Vida. La ecología industrial. Teoría, concepto y herramientas*. Retrieved . Obtenido de Universidad Autónoma Metropolitana: [http://148.206.107.15/biblioteca\\_digital/capitulos/4235758djj.pdf](http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/4235758djj.pdf)

Drielsma, J., Drnek, T., Russell, A., & Weihed, P. (2016). Mineral resources in life cycle impact assessment—defining the path forward. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, , 85-105.

Du, G., & Karoumi, R. (2014). Life cycle assessment framework for railway bridges: literature survey and critical issues. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10.

Ehrhardt, M., & Brigham, E. (2007). Finanzas Corporativas. En *Principios básicos de la presupuestación de capital: Evaluación de los flujos de efectivo* (págs. 313-318). México D.F.: Cengage Learning.

Erkayaoglu, M., & Demirel, N. (2016). A comparative life cycle assessment of material handling systems for sustainable mining. *Journal of Environmental Management* 174 , 1-6.

FEDESARROLLO. (18 de 06 de 2014). *MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE EN COLOMBIA*. Obtenido de Repositorio Institucional Fedesarrollo:

[http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/335/Repор\\_Junio\\_2014\\_Martinez.pdf?sequence=3](http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/335/Repор_Junio_2014_Martinez.pdf?sequence=3)

FEDESARROLLO. (04 de 2008). *La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal*. Obtenido de Biblioteca virtual Repositorio Institucional Fedesarrollo: <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/893>

Fedesarrollo. (2012). *Impacto socioeconómico de la minería en Colombia*. Bogotá: Fedesarrollo-Centro de investigación económica y social. .

FEDESMERALDAS. (2015). *Federación Nacional Colombiana de Esmeraldas*. Obtenido de <http://www.fedesmeraldas.com.co/Institucional/>

FEDESMERALDAS. (2015). Simposio Mundial y Marca Esmeralda. Esmeralda. 6, 22-25.

FEDESMERALDAS. (25 de 04 de 2016). *Producción y exportación de esmeraldas se proyecta al alza*. Obtenido de <http://fedesmeraldas.com.co>: <http://fedesmeraldas.com.co/produccion-y-exportacion-de-esmeraldas-se-proyecta-al-alza/>

Fraguela, J., Carral, L., Iglesias, G., Castro, A., & Rodriguez, J. (2011). *La integración de los sistemas de gestión. Necesidad de una nueva cultura empresarial*. Medellín, Colombia. : ISSN 0012-7353, 44-49. (S. Direct, Ed.).

Friedman, A. L. (2006). *Stakeholders: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press. .

Fuente, J., & Accinelli, E. (2012). Responsabilidad social corporativa, actividades empresariales y desarrollo sustentable Modelo matemático de las decisiones en la empresa. 227-248.

Fundación Avina. (2010). *Elementos diagnósticos para una caracterización de la minería en Colombia-Gestión Ambiental Estratégica*. Bogotá, Colombia. Obtenido de Gestión Ambiental Estratégica: <http://mesadialogopermanente.org/wpcontent/uploads/2013>

Fundación Museo Internacional de la Esmeralda. (2015). *Formas de las esmeraldas*. Obtenido de <http://www.museodelaesmeralda.com.co/esmeraldas.php>

Garraín, D., Vida, R., & Franco, V. (2016). *Análisis del ciclo de vida del reciclado del polietileno de alta densidad*. Obtenido de Repositori Universitat Jaume I: <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/30030/29497.pdf?sequence=1>

Gemfields. (2013). Zambia: Kagem o el milagro verde. *Revista Esmeralda* (4), 18-21.

GEMSELECT. (02 de 2011). *La esmeralda*. Obtenido de Gemselect: <http://www.gemselect.com/spanish/gem-info/emerald/emerald-info.php>

Giuliani, G., Marshall, D., & Groat, L. (2008). Emerald deposits and occurrences: A review. . *Ore Geology Reviews* , 87-112, doi:10.1016 / j.oregeorev.2007.09.003.

Gobernación de Boyacá . (29 de 05 de 2012). *Localización y ubiación geográfica de Boyacá*. Obtenido de <http://www.boyaca.gov.co>  
.shtml

Gobernación de Boyacá. (21 de 10 de 2008). *Departamento de Boyacá, División provincial*. Obtenido de <http://www.boyaca.gov.co>

Gómez, R. (2014). *Del desarrollo Sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como Biomímesis*. . Obtenido de <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0686956.pdf>

Gonzales. (2015). *Propuesta de un modelo para medir activos intangibles en empresas de software a partir de una herramienta multicriterio*. Obtenido de Universidad ICES, Colombia: <http://www.redalyc.org/pdf/212/21237092006.pdf>

Grammling. (2008). Análisis e Información sobre Comercio y Desarrollo Sostenible para América Latina. *El comercio y el desarrollo sostenible: hacia un nuevo consenso*, 9(2).

GSIA. (2016). *Global sustainable investment review*. Obtenido de USSIF (The forum for Sustainable and Responsible Investment: [https://www.ussif.org/files/Publications/GSIA\\_Review2016.pdf](https://www.ussif.org/files/Publications/GSIA_Review2016.pdf)

Gutiérrez, J. (2012). Matemáticas Financiera: con formulas, calculadora financiera y Excel. En *Indicadores de Conveniencia Económica* (págs. 299-309). Bogotá: ECOE Ediciones.

Habermas, J., & McCarthy, h. (1985). *The Theory of Communicative Action: Reason and the rationalization of society*. Beacon Press.

Heijungs, R., & Guinée, J. B. (2012). An Overview of the Life Cycle Assessment Method - Past, Present, and Future. In M. A. . En L. C. Curran. Cincinnati: Scrivener Publishing LLC. .

Helena, M. (2008). *APORTE CRÍTICO AL ANÁLISIS DE LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n27/n27a08>

Hélio, F., & García, M. (2015). A Life Cycle Assessment study of iron ore mining. *Elsevier Ltd*.

Hernández, A., & Rieznik, N. (2015). Ciudades para un Futuro más Sostenible. En *Análisis del ciclo de vida*. Madrid, España.

Herrera, C., & Van Hoof, B. (2007). La evolución y el futuro de la producción más limpia en Colombia. *Revista de ingeniería* (26), 101-117, ISSN. 0121-4993.

Indumil. (2016). *Fabrica de explosivos antonio ricaurte INDUSTRIA MILITAR DE COLOMBIA*. Obtenido de Indumil Colombia: <https://www.indumil.gov.co/wp-content/uploads/2016/02/Productos-Fexar.pdf>

Ingeominas. (2004). *Estado del conocimiento de la exploración de esmeraldas en Colombia*. Obtenido de <http://aplicaciones1.ingegominas.gov.co>

Ingeominas. (05 de 2004). *Estado del conocimiento de la exploración de esmeraldas en Colombia*. Obtenido de <http://aplicaciones1.ingegominas.gov.co>

Ingwersen, W. (2010). *Advances in life cycle assessment and emergy evaluation with case studies in gold mining and pineapple production*. Florida, USA.

ISO 14040. (2007). *Iso.org*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>

Kurczewski, Lewandowska, & Witczak. (2017). *Green marketing today – a mix of trust, consumer participation and life cycle thinking*. Obtenido de Walter de Gruyter: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/manment.2017.21.issue-2/manment-2017-0003/manment-2017-0003.pdf>

Lavandaio, E. (2008 de 2008). *Conozcamos más sobre Minería*. Argentina: ISSN 0328-2317.

Leiteritz, R., & Riaño, M. (2015). *Tras el corazón verde: los vaivenes del conflicto en la región esmeraldera de Colombia*. In *Diferentes recursos, conflictos diferentes: La economía política del conflicto armado y la criminalidad en las regiones de Colombia*.

Ligiaes. (2003). *Antecedentes históricos de la gestión ambiental*. Recuperado el 13 de 12 de 2015, de [manuelrodriguezbecerra.com: http://www.manuelrodriguezbecerra.com/bajar/gestion/capitulo4.pdf](http://www.manuelrodriguezbecerra.com/bajar/gestion/capitulo4.pdf)

Mancini, L., Recchioni, M., Pennington, D., & Sala, s. (2014). Potential of life cycle assessment for supporting the management of critical raw materials. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20.

Mangena, S., & Brent, A. (2006). Application of a Life Cycle Impact Assessment framework to evaluate and compare environmental performances with economic values of supplied coal products. *Journal of Cleaner Production*, 14, 1071e1084.

Mastre, V. (2013). *La necesidad de normas para la convivencia social*. Retrieved 10 29, 2015. Obtenido de <http://suite101.net/article/la-necesidad-de-normas-para-la-convivencia-social-a19093#.VjKoBW7LKDU>

MAVDT. (2002). *Guía Minero Ambiental*. Retrieved 10 12, 2015. Obtenido de <http://www.siame.gov.co>

McCartney, C. (1995). The design and application of propsetter in underground coal mines. In: Proceedings of the 14th international conference on ground control in mining. Morgantown. WV: West Virginia University, 1-13.

Mina de Piedras. (s.f.). *Mina de Piedras- Las mejores Piedras de Colombia*. Retrieved from . Obtenido de Yacimiento de esmeraldas: <http://www.minadepiedras.com/es/laesmeralda/yacimientos-de-esmeraldas.html>

MinAgricultura. (Enero de 2015). *COLOMBIA: Potencial de Reforestación Comercial*. Obtenido de MinAgricultura: <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Potencial%20de%20Reforestacio%CC%81n%20Comercial%20en%20Colombia.pdf>

MinAmbiente. (2016). *Estudio de estimación y caracterización del consumo de madera en los sectores de vivienda y grandes obras de infraestructura*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza\\_forestal\\_2/11.\\_Estudio\\_de\\_Estimacion\\_y\\_caracterizacion\\_del\\_consumo\\_de\\_madera.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza_forestal_2/11._Estudio_de_Estimacion_y_caracterizacion_del_consumo_de_madera.pdf)

MinMinas. (2016). *POLÍTICA MINERA DE COLOMBIA Bases para la minería del futuro*. Obtenido de [minminas.gov.co: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Pol%C3%ADtica+Minera+de+Colombia+final.pdf/c7b3fca-d-76da-41ca-8b11-2b82c0671320](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Pol%C3%ADtica+Minera+de+Colombia+final.pdf/c7b3fca-d-76da-41ca-8b11-2b82c0671320)

Monterroso, E. (2015). *Normas ISO-GENERALIDADES | NORMAS ISO 9000 | NORMAS ISO 14000*. Retrieved 11 03, 2015, from *Universidad Nacional de Luján*. Obtenido de <http://www.unlu.edu.ar/~ope20156/normasiso.htm>

Morillo, M. (2001). Rentabilidad Financiera y Reducción de Costos. *Actualidad Contable FACES*, 35-48.

Norgate, T., & Haque, N. (2015). Life cycle assessment of iron ore mining and processing, In *Iron Ore*. Woodhead Publishing, 615-630.

Novazo, N. &. (2003). *CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES ATMOSFÉRICOS EN ÁREAS INDUSTRIALES*. Bilbao: Universidad del país Vasco.

NTC ISO 14041. (2000). *Gestión Ambiental- Análisis de Ciclo ed Vida- Definición del Objetivo y alcance y análisis del Inventario*. Obtenido de <http://archives.valoryempresa.com/archives3/14041txt.pdf.pdf>

NTC-ISO 14040. (2007). *Gestión ambiental análisis de ciclo de vida. Principios y marco referencial*. Obtenido de [http://files.control-ambiental5.webnode.com.co: http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007%20Analisis\\_CicloVida.pdf](http://files.control-ambiental5.webnode.com.co: http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007%20Analisis_CicloVida.pdf)

Olivero, J. (2014). *Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana*. Obtenido de <http://concienciaciudadana.org/wp-content/uploads/2017/06/Efectos-de-la-Miner%C3%ADa-en-Colombia-sobre-la-Salud-Humana-Jes%C3%BAAs-Olivero-Verbel.pdf>

OMS. (Abril de 2016). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*. Obtenido de Centro de prensa: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>

Parrado, Á., & Robinson, P. (2012). *Diseño plan de manejo ambiental para la mina de esmeraldas en Guaquimay, municipio de Yacopí (Cundinamarca)*. Obtenido de <http://www.umng.edu.co>

PBI. (2011). *Minería en Colombia ¿A qué precio?* (Boletín Informativo no. 18). . Colombia: Editorial CÓDICE Ltda. ISSN 1908 - 3489.

Peña, R., & Rosas, I. (12 de 10 de 2015). *Metodología de evaluación del impacto del ciclo de vida para la minería*. Obtenido de Ministerio de minería de Chile: <http://www.tecnologiaslimpias.cl/chile/docs/2004-est-met-evalimpactovida.pdf> Pierre, F., & P

Porter. (1987). *Competitive Advantage to Corporate Strategy*. . Obtenido de Harvard Business Review, 43-59: From <https://hbr.org/1987/05/from-competitive-advantage-to-corporate-strategy>

PRé Consultants. (2014). *What's new in SimaPro 8.0.4* . Obtenido de Pre-sustainability.com: <https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro804WhatIsNew.pdf>

Quijano, & Pardo. (12 de 2010). *Elementos Diagnósticos para una caracterización de la minería en Colombia*. Obtenido de Mesa de dialogo permanente: <https://www.mesadedialogopermanente.org/wp-content/uploads/2013/05/ELEMENTOS-DIAGNOSTICO-MINERIA-COLOMBIA-GAE-AVINA.pdf>

República Nacional de Colombia. (1989). *Informe relativo al levantamiento de los planos y mesura de los terrenos de las minas de esmeralda*. Bogotá: Imprenta Nacional.

República, L. (26 de 04 de 2013). *Así quedó el mercado de las esmeraldas*. . Obtenido de <http://www.larepublica.co>

Rivera, H. (2009). The Concept of Corporate Strategy-Kenneth R. Andrews. . En *Innovar* (págs. 19(35), 197-169).

Roca, M. (2014). *Comparativa de Análisis de Ciclo de Vida de dos tipos de puente de carretera: puente de hormigón y puente metálico*. Barcelona, UPC BARCELONA TECH. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/>

Romero, T. (2008). Análisis de Ciclo de Vida (ACV) Herramienta de Gestión Ambiental. . *Revista tendencias tecnológicas*, 91-97. ISSN 2174-6850. .

Rubiano, S. (2012). *La regulación ambiental y social de la minería en Colombia: comentarios al proyecto de ley de reforma al Código de Minas*. Obtenido de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/09382.pdf>

SAIC. (2006). Life Cycle Assessment: Principles and Practice. *Scientific Applications International Corporation (SAIC)*,. (M. A. Curran, Ed.) OHIO 4526: EPA.

Sampieri, H., Collado, F., & Baptista, L. (2010). *Estudios de caso. La metodología de la investigación ( Capítulo 4)*. México: McGraw-Hill Interamericana.

Sangwan, Bahkar, & Andrat, N. &. (2014). Life Cycle Assessment of Incandescent, Fluorescent, Compact Fluorescent and Light Emitting Diode Lamps in an Indian Scenario. *21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 467- 472.

Sharma, S., & Vredenburg, H. (1998). Proactive Corporate Strategy and the Development of Competitively Valuable Organizational Capabilities. En *S. M. Journal*.

Silva, Lahr, & P. (2014). LCA case study of sugarcane bagasse addition to particle board manufacturing. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1767-1778.

SIMCO. (2015). *Informe Sectorial Minero-Sistema de Información Minero Colombiano*. Obtenido de [https://www.sectorial.co/minero/item/.../90\\_41c8743318e70b270dcc7c922555a835](https://www.sectorial.co/minero/item/.../90_41c8743318e70b270dcc7c922555a835)

Siñuela, D. A. (2012). *Diseño de un sistema de control producción para la minería de esmeraldas*. Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile. . Obtenido de [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2012/cf-sinuela\\_dp/html/index-frames.html](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2012/cf-sinuela_dp/html/index-frames.html)

Steyn, A. (2017). The Benefits of using electronic detonators in both opencast and undergrounds mines . En Pradeep, Singh, Singh, & K. & Roy, *NexGen Technologies for Mining and Fuel Industries (Volume I and II)* (págs. 291-298). Johannesburg, South Africa: Allied Publishers.

Strata. (05 de 04 de 2018). Propsetter® Yielding support system. USA.

Thiebault, C. (. (2010). *Design of railway bridges considering LCA. KTH- Science, art & engineers* . Stockholm, Sweden: Vincent Thiebault. Royal Institute of Technology (KTH). ISSN 1103-4297.

Thornton, L. (1996). Impacts of mining on the environment; some local, regional and global issues. *Applied Geochemistry*, 351-361.

Tovar. (2013). *ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES GENERADOS POR LA MINERÍA DE ARCILLAS A CIELO ABIERTO EN LA VEREDA EL MOCHUELO BAJO, CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ D.C., ESTUDIO DE CASO.*

Obtenido de [https://repository.javeriana.edu.co: javeriana.edu.co:](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12467/GarzonTovarLigiaNathalya2013.pdf;sequence=1)

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12467/GarzonTovarLigiaNathalya2013.pdf;sequence=1>

UNEP. (2003). Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment. *París, Francia: La Fenice Grafica. ISBN: 92-807-2144-5.* . Obtenido de París, Francia: La Fenice Grafica. ISBN: 92-807-2144-5.

UPME. (08 de 09 de 2004). *Unidad de Planeación Minero Energética: Plan de Infraestructura de Transporte y Portuaria.* Obtenido de <http://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1276/5/RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf>

UPME. (2016). *PROYECCIÓN DE DEMANDA COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN COLOMBIA.* Obtenido de [sipg.gov.co: http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/Proyecciones/2016/Proyeccio%CC%81nDemandaL%C3%ADquidos-Rev2016.pdf](http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/Proyecciones/2016/Proyeccio%CC%81nDemandaL%C3%ADquidos-Rev2016.pdf)

Valdivia, S., & Ugaya, c. (2011 ). Life cycle inventories of gold artisanal and small-scale mining activities in Peru: Toward indicators for South America. (Y. University, Ed.) UNEP DTIE—SCP Branch, 15(6), . 922-936.

Van Hoof. (2008). La herramienta de análisis de ciclo de vida. In B. Van Hoof, N.Monroy , & A. Saer, Producción más limpia : paradigma de gestión ambiental. Bogotá: Alfaomega.

Van Hoof, B., & Herrera, C. (2007). La evolución y el futuro de la producción más limpia en Colombia. . *Revista de Ingeniería.Universidad de los Andes, 10(26),* , 101-119..

Watanabe. (2013). *Explosivos - tipos y propiedades*

Yañes, C. (2008). *Sistema de Gestió de Calidad en base a la Norma ISO 9001.* Obtenido de

<http://internacionaleventos.com/articulos/articuloiso.pdf>

# Gracias



# ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA EXPLOTACIÓN DE ESMERALDA EN EL DISTRITO MINERO MUZO EN EL OCCIDENTE DE BOYACÁ

## ESTUDIO DE CASO PARA UNA EMPRESA MINERA

Jessica Paola Flórez Murcia  
Bogotá D.C.  
Universidad El Bosque

[jpfllorez@unbosque.edu.co](mailto:jpfllorez@unbosque.edu.co)

Este documento presenta el trabajo de investigación titulado **Análisis de Ciclo de Vida en la Explotación de esmeraldas en el Distrito Minero Muzo en el Occidente de Boyacá Colombia, Estudio de Caso para una Empresa Minera**, el cual tuvo como principal objetivo generar propuestas desde la gestión ambiental para la mitigación de impactos en una empresa minera de esmeraldas localizada en el distrito minero Muzo, a partir de las herramientas de análisis de ciclo de vida bajo la norma ISO 14040 de 2006. Como metodología se realizaron las cuatro fases de dicha norma, definiendo, así como unidad funcional un metro de avance en túnel, en cuanto al **Inventario de Ciclo de Vida**, el proceso de explotación fue dividido en 5 procesos unitarios y en 3 procesos globales. Los resultados principales fueron, los procesos **Explosivo indugel** y **Madera** presentaron la mayor carga ambiental en todo el proceso de explotación con porcentajes del 22.5% y 29% respectivamente. Por otro lado, el proceso **Extracción** presentó la mayor carga ambiental en la categoría de impacto uso del suelo, con un porcentaje del 100%. Se generaron propuestas desde la gestión ambiental para los procesos explosivo indugel y madera, donde la propuesta **Detonador electrónico** junto al empleo de **madera plástica** presentan un ahorro de costos hasta de 76 millones de pesos al año y disminuyen la carga ambiental de todo el proceso explotación generando así beneficios de minería responsable.

**Palabras Clave-** Análisis de Ciclo de Vida, Esmeralda, Explotación, Estrategia Ambiental.

### I. INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con dos sistemas de yacimientos de esmeraldas ubicados en los cinturones esmeraldíferos oriental y occidental de la cordillera oriental de los andes. El sistema occidental donde se ubica el distrito minero Muzo (fig. 1), ha pasado por diferentes procesos geológicos y tectónicos que dieron lugar a condiciones óptimas para la formación de las esmeraldas de mejor calidad a nivel mundial, caracterizadas por su brillo y profundo color verde azulado [1]

Sin embargo, la minería de esmeraldas al igual que las demás actividades extractivas generan diversas problemáticas que afectan el ambiente y la calidad de vida de las comunidades. Entre las principales se encuentran, que las empresas no cuentan con un esquema claro del negocio y del capital para inversión en planeación estratégica minera, debido a la alta incertidumbre de este. De igual manera, las inversiones están dirigidas

fundamentalmente a atender las prioridades de operación y presentan una baja capacidad de endeudamiento por lo cual se reducen los recursos para desarrollar estudios de viabilidad en el sector [2]. Así mismo, la mayoría de las empresas tienen un bajo nivel de tecnificación, por lo cual, no poseen mecanismos de prevención y mitigación para la contaminación ambiental. En algunas minas, se presentan precarias medidas de seguridad industrial generando un bajo nivel de Responsabilidad Social Empresarial (RSE).

Cabe mencionar que algunas empresas esmeralderas buscan desarrollar su proceso productivo de manera responsable con el ambiente, pero la gestión ambiental y social de la industria minera en general sigue siendo precaria [2]; [3]; [4]. Lo expuesto anteriormente, se



Fig 1. Localización geográfica de la empresa

corroboró con visitas técnicas realizadas en la empresa minera (estudio de caso), ubicada entre las minas de explotación de esmeraldas del distrito minero de Muzo situado entre los municipios Muzo y Quipama del Departamento de Boyacá.

El sector esmeraldero del Occidente de Boyacá, cuenta con una regular gestión ambiental sin transferencia de conocimiento de buenas prácticas, generando una débil estructura organizacional del sector, con respecto a los roles integradores y sistemas de gestión específicos, lo que afecta toda la cadena de valor por la poca información que se dispone; esto impide llevar a cabo acciones correctivas y preventivas, por lo tanto hay factores de riesgo que influyen en la incertidumbre del proceso de explotación, lo que dificulta la toma de decisiones para aspectos de mejora en el sector esmeraldero [4].

El desconocimiento de los impactos ambientales asociados al proceso productivo y de los beneficios de desarrollar estos con enfoque de CV, imposibilita que las empresas tengan una visión holística en el sistema de producción, para la implementación de estrategias como lo mencionan los estudios [5];[6];[7];[8],

En este contexto, no hay mecanismos que garanticen que las empresas mineras de esmeraldas colombianas mantengan el abastecimiento de la demanda en el creciente mercado de productos de minería responsable a nivel ambiental y social, lo cual puede dejar muchas de estas por fuera del mercado nacional e internacional, a diferencia de las pocas empresas mineras que sí ejercen buenas prácticas en relación con la calidad y protección del ambiente. Cuando no se establecen sistemas de gestión que permitan que los productos o servicios cumplan con criterios de sostenibilidad se genera desconfianza y desfavorece la decisión de compra por parte de los clientes actuales que buscan productos y servicios con buenas prácticas [9]

Debido a lo anteriormente expuesto, la calidad en el mecanismo de producción se ha convertido una necesidad indispensable para permanecer en el mercado, por ello actualmente las empresas de explotación de esta gema han intentado incorporar estrategias ambientales y sociales, para reducir y mitigar los impactos que se producen en su operación.

Por esta razón, el sector esmeraldero en Colombia ha desarrollado estrategias para fortalecer el negocio. Una de estas, es la iniciativa recientemente lanzada al mercado “Mothergem” que representa las esmeraldas del país en el mundo, bajo el lema “Mothergem es de todos”, esta iniciativa busca promover la minería responsable a nivel social y ambiental y garantizar la autenticidad de las esmeraldas en cada uno de los procesos de producción y comercialización [10],[11].

Por otro lado, la causa principal de la investigación se sustentó en que hasta el momento no se han desarrollado estudios de impacto ambiental para explotación de esmeraldas con enfoque de Ciclo Vida (CV), ni en Colombia ni a nivel mundial. Por lo tanto el valor agregado de este, fue generar el primer estudio en su índole a través de la aplicación de un estudio de caso, donde la empresa en estudio manifestó la necesidad de conocer los impactos ambientales durante el ciclo de vida de sus esmeraldas y de igual forma implementar una estrategia ambiental corporativa, con el fin optimizar el manejo de los impactos operacionales y por medio de esta se destaque en el sector y tenga mayor acceso a las oportunidades de mercado, el aprovechamiento y participación en la estrategia nacional que está impulsando el sector esmeraldero en el país a nivel nacional e internacional.

Para esto, se optó por desarrollar la herramienta de gestión ambiental Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica y

sistemática el impacto ambiental originado por la explotación de esmeraldas a lo largo su ciclo de vida hasta recepción de materias primas hasta la extracción de estériles con posibles esmeraldas, contribuyendo a la implementación de acciones para mejorar el desempeño ambiental empresarial. Así mismo es una herramienta que permite identificar los impactos ambientales en la cadena de valor y reducir el potencial de afectación sobre el ecosistema, los usuarios y los stakeholders.

Se resalta que este estudio constituye una primera parte, ya que los resultados finales se tendrán en el transcurso de la Maestría en Gestión Empresarial Ambiental de la Universidad El Bosque.

## II. METODOLOGÍA

Inicialmente este estudio de caso se vincula con lo que plantea al respecto Sampieri (2010), ya que la investigación se realizó bajo la conjugación de los métodos cualitativos y cuantitativos, lo que le confiere un enfoque mixto a la investigación, ya que promueve el desarrollo pertinente de obtención de información, procesamiento de esta y resultados fiables, que fomenten una descripción real del objeto de análisis [12]; todo esto para incrementar la validez del análisis y las inferencias.

A partir de esto, los resultados permiten establecer una comparación real, de los impactos ambientales negativos generados alrededor de los procesos de la explotación de la esmeralda, en la empresa estudio de caso [12]. A continuación, se describen las actividades que se desarrollaron para cada método.

### *Método Cualitativo*

El diseño de investigación cualitativo se realizó en dos fases, la primera se basó en el manejo y recolección de información primaria, para lo cual se realizaron actividades de trabajo en campo y la segunda es la recolección de información secundaria, que se desarrolló mediante la obtención de información a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica.

### *Método Cuantitativo*

El enfoque cuantitativo de la presente investigación se basa en la información obtenida del enfoque cualitativo anteriormente expuesto y se rige bajo la norma ISO 14040 de ACV que consta de cuatro fases [13]. La primera fase consiste en la definición del objetivo y alcance del estudio, La segunda fase se denomina Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (AICV), la calidad del ICV depende en gran medida de las tecnologías utilizadas, las condiciones regionales y el alcance de la información, por lo que la falta de datos adecuado de ICV continúa siendo un obstáculo en la realización de ACV [14]

La tercera fase es la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV), donde se evalúa los impactos ambientales potenciales por la utilización de recursos y emisiones durante la fase de ICV, esto se realiza en diferentes fases: Categorización, caracterización, normalización y ponderación, de los posibles causantes de

impactos [15]; [13]. Aunque se puede obtener algunas conclusiones directamente [16].

Finalmente, la fase de Interpretación del Ciclo de Vida, en la cual se combinan los resultados de AICV con los de la EICV, para obtener las conclusiones del estudio.

De acuerdo con el alcance del presente estudio, la metodología de ACV, no se ha desarrollado completamente. Sin embargo, se tuvo en cuenta para la obtención de los resultados parciales del mismo. De igual manera el proceso de búsqueda de información se realizó de manera rigurosa la cual sirvió de base para la consolidación del marco referencial y la caracterización del proceso producto junto con el inventario preliminar de Análisis de Ciclo de Vida.

### III. RESULTADOS

#### 1. Objetivo y Alcance

El objetivo del presente estudio es evaluar los impactos ambientales generados en la explotación de la empresa de esmeraldas ubicada en el distrito minero Muzo en el cinturón esmeraldero del occidente de Boyacá. A partir de este estudio se determinarán los puntos críticos de esta actividad minera. Con base en los resultados del estudio se busca generar propuestas desde la gestión ambiental para mejorar el desempeño ambiental en la empresa de esmeraldas caso de estudio, ser una guía para el resto del sector esmeraldero. La divulgación de los resultados del estudio se realizará en el ámbito académico de la Universidad El Bosque y la empresa objeto de estudio, con el fin de que esta tenga insumos para su planeación estratégica.

En alcance se tiene como unidad funcional un metro de avance en túnel con las características geológicas del cinturón esmeraldero occidental, el cual está asociado a formaciones específicas del Cretáceo Inferior. El yacimiento de la empresa pertenece a la Formación Muzo que cuenta con tres unidades litológicas, estas son Lutitas arcillosas o arcillolitas, Lutitas carbonosas y Lutitas carbonosas calcáreas.

De igual manera se tratará la información del año 2016 ya que es el último registro de información del que se dispone, esto se debe a que los registros más recientes no están completos y en los años anteriores al 2016 la empresa se encontraba realizando actividades de montaje y constitución legal.

Para la delimitación de este sistema, se contempló la etapa de obtención de materias primas, así como la etapa de explotación de la esmeralda, el cuál abarca procesos unitarios como: el sostenimiento de túneles, voladura de roca, lavado de estériles, instalación del sistema de

ventilación e iluminación y procesos globales como transporte, energía eléctrica y energía térmica.

Por otro lado, se resalta que los datos para el desarrollo del ICV se recopilaron por medio de visitas técnicas a la empresa en los formatos establecidos por Mary Ann Curran, 2012 y que, dentro de las principales limitaciones encontradas para este estudio, está la obtención de la información y su verificación, puesto que la misma está sujeta al conocimiento de los empresarios, administradores de la mina y a los registros que lleva la empresa.

#### 2. AICV

Para el desarrollo del ICV se consideraron las entradas y salidas de cada proceso unitario establecido dentro de los límites del sistema, donde se manejaron datos de primer plano y datos de fondo.

##### *Datos de primer plano*

Estos datos constituyen la información específica requerida para consolidar el sistema y facilitar su descripción. En este sentido, fueron recopilados en los formatos descritos en el apartado de metodología, así como las hojas de cálculo para el balance de masa y energía de cada proceso unitario delimitado en el sistema con base al factor de conversión el cual es  $0,5 \text{ JE/mA}^1$

##### *Datos de fondo*

Los datos de fondo se obtienen a través de la herramienta SimaPro 8.4, los cuales son asociados con los procesos de material, energía y transporte. En la realización de esta etapa, se utilizó la base de datos Ecoinvent 3, Agri-footprint y USLC, donde se referenciaron 1, 35 y 1 productos respectivamente al proceso de esta investigación

#### 3. EICV

El proceso madera presenta la mayor carga ambiental para todo el proceso de explotación de la mina, seguido por explosivo indugel con 29% y 22.6% respectivamente.

En el proceso madera, la carga ambiental se deriva de los procesos de combustibles asociados a la operación de la maquinaria empleada para la extracción del recurso. Igualmente, en el flujo del proceso del explosivo indugel, la carga ambiental se deriva de los procesos de producción del nitrato de amonio, el cual es su principal componente. En los niveles inferiores del explosivo indugel se encuentra el ácido nítrico, esto se debe a que

---

<sup>1</sup> Jornada de explotación por metro de avance en túnel, siendo un día la jornada de explotación

el nitrato de amonio se obtiene por neutralización de ácido nítrico con hidróxido de amonio tras la evaporación del agua.

En el CV en la explotación de la mina, el proceso de explotación presenta mayor carga ambiental que los procesos de transporte de materias primas. En la gráfica 1, se puede observar que los indicadores de categorías de impacto uso del suelo “Land Acidificación/ Eutrofización” “Acidification/ Eutrophication” y Respiración de sustancias inorgánicas presentan un porcentaje casi del 99% sobre el proceso de transporte. En el indicador de categoría de impacto capa de ozono “ozone layer”, el proceso de transporte presenta una afectación notoria con respecto a las otras categorías de impacto, el insumo vehículo comercial de carga ligera de explosivos, toma el 5% en esta categoría, sobre 87% de impacto que genera el proceso de explotación. Adicionalmente, se puede observar como varía ligeramente el impacto de este uso de transporte en los indicadores de combustibles fósiles “fossil fuel”, radiación “radiation” y cambio climático “climate change”.

Lo anteriormente descrito, puede ser observado en las gráficas 1 y 2, la última mencionada muestra tres categorías: daño a la salud humana, calidad de ecosistema y uso de recursos. Calidad de ecosistema contiene el indicador de uso del suelo, sobre el cual la actividad minera causa mayor impacto, este impacto presenta una puntuación alta sobre las otras dos categorías en el proceso de explotación. Por otro lado, gráficas 3 y 4 muestran como la categoría de daño a la calidad de ecosistema persiste, las categorías de salud humana y uso de recursos disminuyen en el proceso de explotación y el impacto del proceso de transporte no se evidencia. En cuanto a la evaluación del proceso de explotación, y de acuerdo con los resultados del EICV arrojados por el método eco-indicador 99, gráfica 5 pauta que la mayor

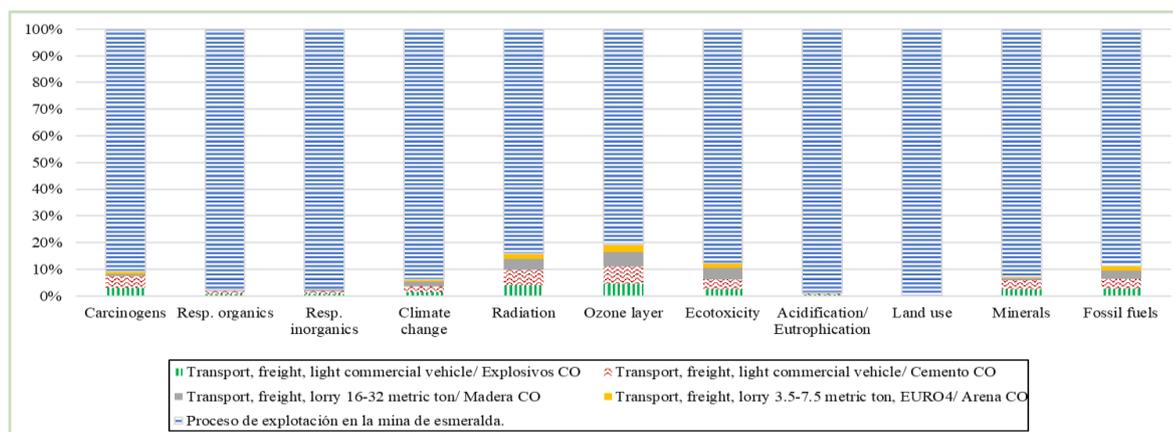
carga ambiental es por parte el proceso extracción en el indicador de uso del suelo (100%), respiración de sustancias orgánicas (85,7%), acidificación/ eutrofización (58%) e inorgánicas (33,4%).

Con respecto a las categorías relacionadas a los demás procesos unitarios, el proceso de voladura de roca es el segundo que genera mayor carga ambiental. Dentro de este proceso, se resalta el proceso asociado al explosivo indugel con un porcentaje del 47.1% en el indicador de capa de ozono, 45,3% en el indicador radiación y 35,1% en el indicador minerales. Para el proceso unitario de sostenimiento de túneles el proceso de cemento aporta el 39,7% en el indicador de cambio climático, 31,2% en el indicador radiación y 30,4% en el indicador capa de ozono. Así mismo, la madera aporta el 36,9% en el indicador de combustibles fósiles, 24,8% en el indicador respiración de sustancias inorgánicas y 23,1% en el indicador de acidificación/ eutrofización. Con relación al proceso unitario instalación del sistema de iluminación el proceso asociado al cableado aporta el 69,1% en el indicador carcinógenos, 57,1% en el indicador minerales y 50,1% en el indicador ecotoxicidad.

La grafica 6 evidencia que, para la categoría de calidad de ecosistema, el proceso de extracción genera el 99,4% de carga ambiental. Así mismo, en la categoría de salud humana el proceso de extracción aporta el 23,4% de carga ambiental, la madera aporta el 19,3%, el explosivo indugel 19,1% y el cemento 15%. En la categoría de recursos, la madera aporta el 35,3% de la carga ambiental, seguido por el explosivo indugel la cual presenta un porcentaje 27,7% y finalmente el cemento con 14,6%.

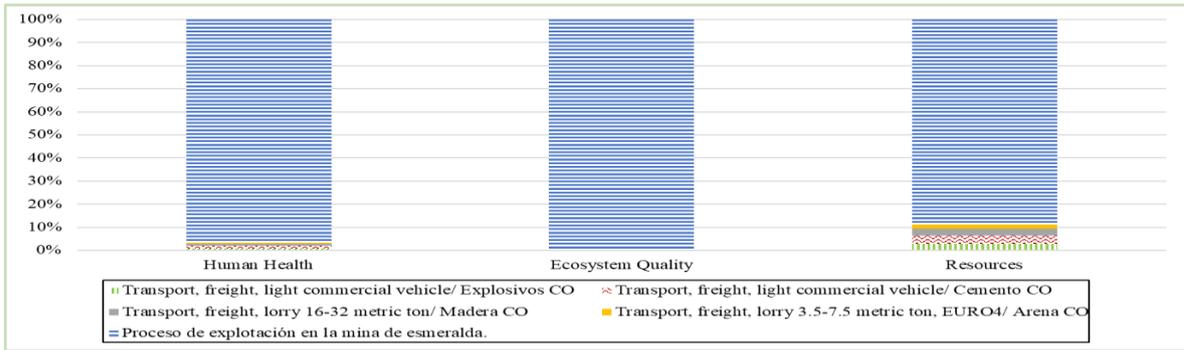
Finalmente, las gráficas 7 y 8, se observa que el proceso de extracción aporta carga ambiental principalmente la categoría de daño a la calidad de ecosistema y el impacto de los demás procesos es mínima de acuerdo con los resultados de esta gráfica

**Gráfica 1.** Caracterización de la EICV del ciclo de la vida de la explotación de la mina de esmeraldas



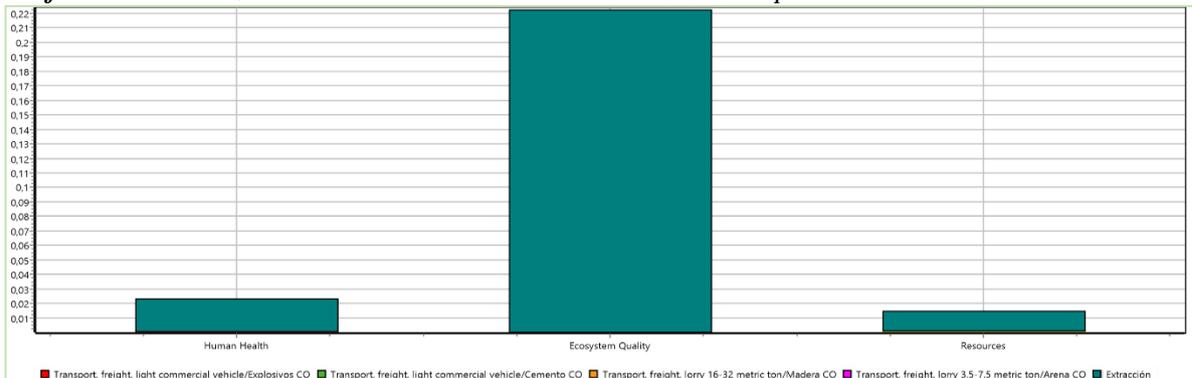
**Fuente:** Elaborador por Autor en el software SimaPro

**Gráfica 2.** Evaluación del daño de la EICV del ciclo de la vida de la explotación de la mina de esmeraldas

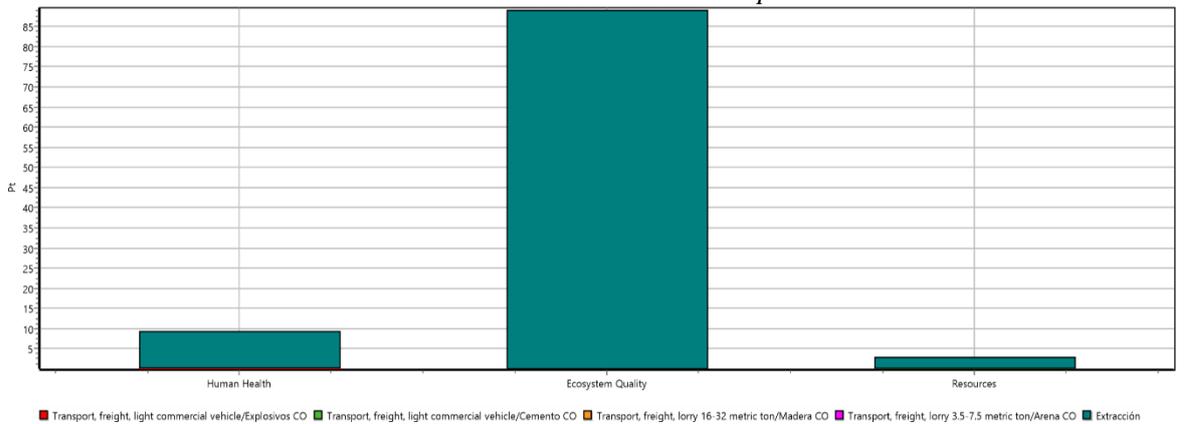


Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

**Gráfica 3.** Normalización de la EICV del ciclo de la vida de la explotación de la mina de esmeraldas

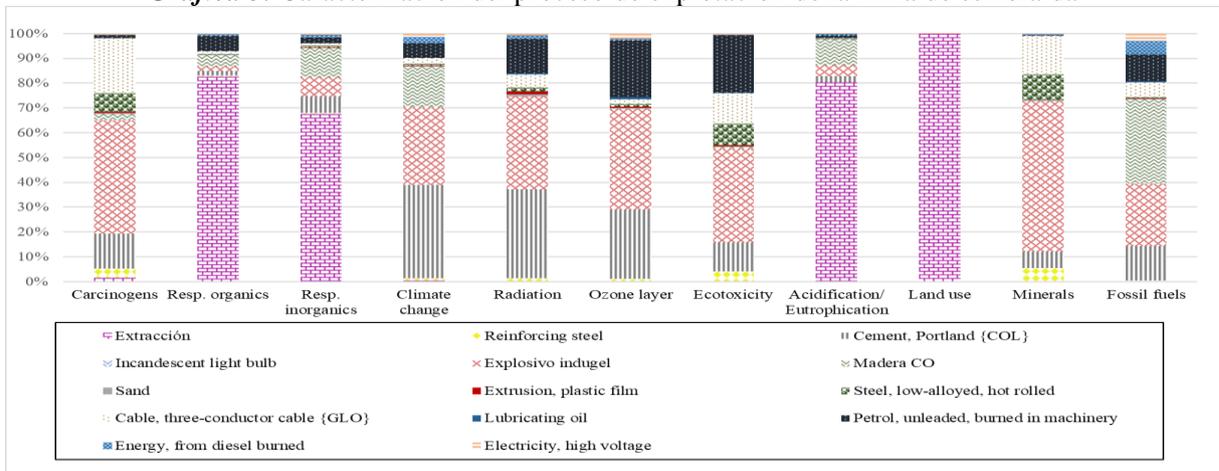


**Gráfica 4.** Ponderación de la EICV del ciclo de la vida de la explotación de la mina de esmeraldas



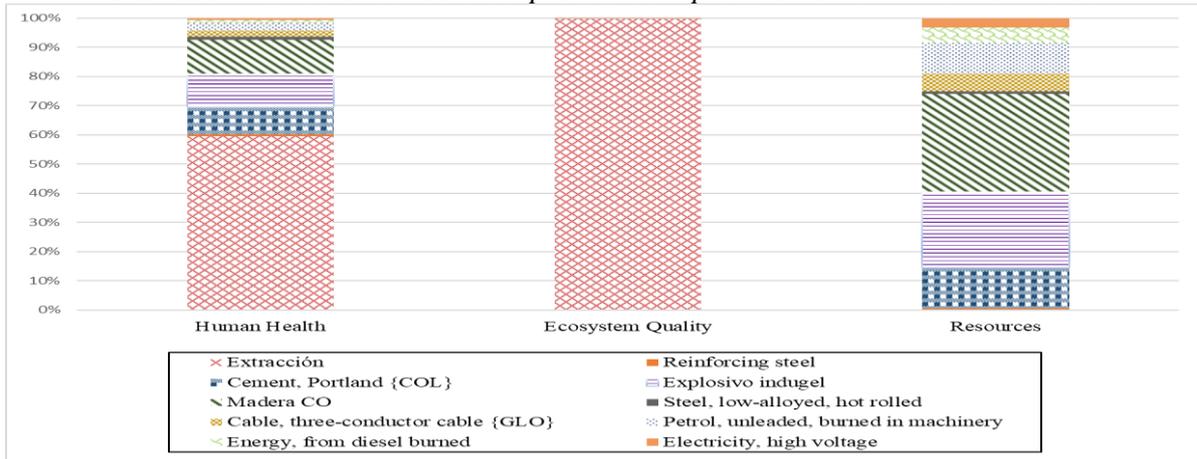
Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

**Gráfica 5.** Caracterización del proceso de explotación de la mina de esmeralda



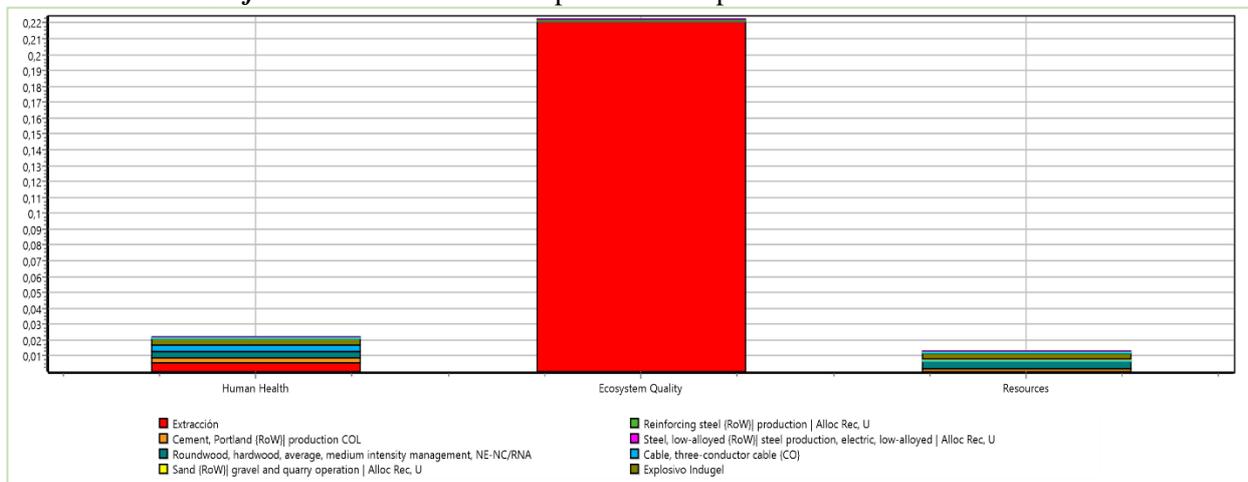
Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

**Gráfica 6.** Evaluación del daño del proceso de explotación de la mina de esmeralda



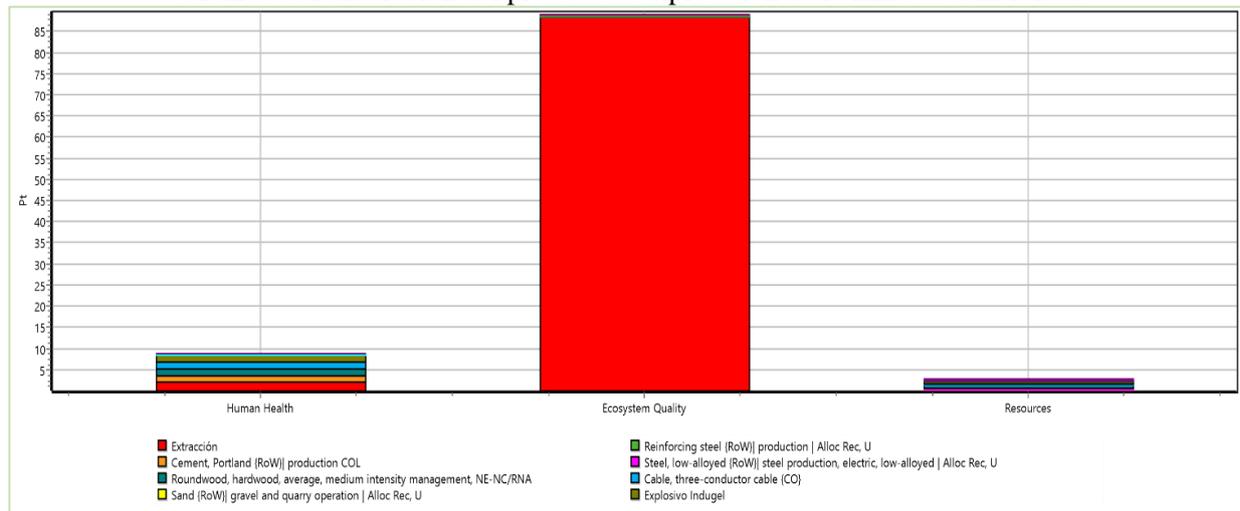
Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

**Gráfica 7.** Normalización del proceso de explotación de la mina de esmeralda



Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

**Gráfica 8.** Ponderación del proceso de explotación de la mina de esmeraldas



Fuente: Elaborador por Autor en el software SimaPro

#### 4. Interpretación del ciclo de vida en la explotación de esmeraldas

De acuerdo con el desarrollo de la etapa del EICV de la explotación de la mina de esmeraldas, se evidenció que los procesos de transporte no aportan cargas significativas en la evaluación de los indicadores de las categorías de daño, por lo cual se excluyeron con el fin de centrar el análisis de las cargas ambientales sobre el proceso de explotación de la mina de esmeraldas y los diferentes procesos de entrada de materias primas y

energía asociados al mismo.

Se clasificaron los flujos de procesos que mayores contribuciones representaron en los indicadores de categoría de impacto, los cuales fueron extracción, explosivo indugel, madera, cemento, gasolina y cableado.

Lo anterior se consolidó en la tabla 1, obtenida de las gráficas de caracterización y que relaciona los procesos de mayor carga ambiental con sus respectivos porcentajes de contribución para cada uno de los indicadores de categorías de impacto.

**Tabla 1.** Relación de los procesos con respecto a los indicadores de categorías y su porcentaje

Indicadores de categorías	Procesos					
	Extrac.	Cemento	Explos. indugel	Madera	Cableado	Gasolina
<b>Sustancias Carcinógenas</b>	15%	12,8%	41,0%	2,4%	9,8%	0,9%
<b>Respiración de S. O.</b>	80,5%	1,9%	1,8%	4,6%	0,9%	6,1%
<b>Respiración de S. I.</b>	65,6%	6,3%	11,5%	7,6%	1,0%	2,2%
<b>Cambio climático</b>	0,5%	29,1%	35,2%	15,3%	2,0%	5,6%
<b>Radiaciones Ionizantes</b>	-	28,9%	30,3%	-	4,2%	11,2%
<b>Capa de Ozono</b>	-	21,1%	31,0%	-	1,4%	17,4%
<b>Ecotoxicidad</b>	-	9,9%	32,5%	0,6%	10,7%	19,8%
<b>Acidificación/eutrofización</b>	79,4%	2,5%	4,1%	10,4%	0,2%	1,0%
<b>Uso del suelo</b>	100,0%	-	-	-	-	-
<b>Agotamiento de minerales</b>	-	6,0%	56,1%	-	14,2%	0,3%
<b>Agotamiento de combustible fósil</b>	-	12,2%	21,8%	29,6%	5,1%	9,3%

**Fuente:** Valores obtenidos a partir de la gráfica de caracterización del proceso

##### 4.1. Propuestas

De acuerdo con los resultados obtenidos en la EICV en la explotación de la mina de esmeraldas, se plantearon algunas propuestas de recomendación desde la gestión ambiental, que contribuyan al mejoramiento del proceso de explotación y que suplan las necesidades de la empresa en relación a estrategias de mayor eficiencia en la utilización de los recursos que disminuyan los impactos ambientales generados en su proceso extractivo, con el fin de vincular estrategias ambientales a su planeación estratégica.

De igual forma, estas propuestas de recomendación constituyen una herramienta para apoyar la toma de decisiones en la empresa y por lo tanto deben atender a optimizar el manejo de los impactos operacionales

significativos que fueron identificados por medio del ACV. Cabe mencionar que estas medidas se clasifican como propuestas estratégicas y propuestas tecnológicas, estas están sujetas a la presentación y discusión con los empresarios mineros.

Los impactos operacionales a los que atienden las siguientes propuestas son los relacionados al explosivo indugel del proceso unitario voladura de roca, y el insumo de madera asociado al proceso unitario de sostenimiento de túneles. El manejo de los impactos asociados al proceso unitario extracción no se contemplan, ya que esta actividad impacta directamente sobre el subsuelo le corresponde a la empresa mitigarlos mediante la ejecución del plan de manejo ambiental incluido en la licencia ambiental del proyecto minero.

Por lo tanto, el alcance de las presentes propuestas es ir más allá del cumplimiento normativo a través de la herramienta ACV para contribuir a la gestión ambiental de la empresa y no están estrictamente ligadas al cumplimiento del plan de manejo ambiental.

Sin embargo, las propuestas presentadas a continuación tienen una significativa influencia en la reducción del impacto ambiental que genera todo el proceso de explotación de la mina de esmeraldas y están basadas en estudios de caso de proyectos mineros. Finalmente, las siguientes propuestas contemplan la implementación de tecnologías a ejecutar por metro de avance, sin tener en cuenta el cambio o mejoramiento de la estructura ya realizada en el corte.

#### *4.1.1. Propuestas para el manejo de los impactos operacionales asociados a la madera*

La madera que se emplea actualmente en la mina es obtenida por una empresa que no cuenta aún con un sistema sostenible para la producción de madera, esta solo cuenta con permisos de aprovechamiento. Por lo tanto, la carga ambiental que se recibe por parte de la mano de obra que se emplea en dicha empresa es alta. El proceso de producción de madera incluye insumos que generan alto impacto ambiental, uno de estos es el Diesel, el cual es empleado en la operación de la maquinaria, así como su método de extracción de madera en bosques no certificados y el proceso de secado en hornos. Adicionalmente la alta demanda de madera en la mina aumenta la carga ambiental en aspectos de uso de materiales.

Por lo anterior, esta propuesta de gestión ambiental incluye dos opciones para la disminución de dicha carga, las cuales son: cambiar el diseño para la mejora de rendimiento, soporte y empleo de materiales y/o cambiar el material por madera plástica con beneficios de reuso de materiales reciclados, largo ciclo de vida de este y empleo de materiales.

##### *Diseño de Madera rolliza con modelo Propsetter*

Actualmente, la empresa emplea el diseño rectangular de cuatro puntas, donde de acuerdo con estudios de tecnología para soporte de cubierta subterránea, se encontró que este tipo de diseño requiere de una alta mano de obra para su instalación y mantenimiento, además que su duración es corta en comparación a otros tipos de tecnologías de soporte. Según el estudio de Barczak, 2010 [17], las tasas de instalación mejoran hasta en un 200% con el modelo de soporte de Propsetter en comparación a la del soporte de cuatro puntas, este sistema es un poste de madera de diseño cilíndrico con bases en los terminales y tres anillos de acero. Así mismo McCartney, 1995; Strata, 2018 [18] [19] comparan el Propsetter de 216 mm de diámetro con la madera de 4 puntos de 914 mm y encontró que se maneja un 72%

menos madera cuando se usa un Propsetter de 1,829 m de largo. El Propsetter reduce la resistencia de ventilación en un 76% y el mantenimiento de soporte es reducido por la contracción de la madera. Estos estudios, demuestran que el sistema Propsetter cumple con las necesidades asociadas con efectividad en sistemas de soporte Brown, 2018 [20].

##### *Madera plástica*

La estructura de sostenimiento de túneles es construida en madera con el fin de brindar el soporte y la estabilidad mecánica de muros y techos del túnel y evitar accidentes por desprendimientos inesperados de las rocas. La cantidad de accidentes ocurridos debido a una deficiencia o falla en la estructura es de alrededor del 38%. 'Adicionalmente, el crecimiento de un árbol para alcanzar el tamaño óptimo para corte es de mínimo 4 años, esto hace que haya una alta demanda permanentemente de madera estructural para uso en minería como lo es el eucalipto. Asociado a esto, los costos son altos debido a la alta demanda y al aumento del flete por la necesidad de usar bosques cada vez más lejanos a los sitios de operación minera. Generalmente, el costo de la madera oscila entre el 8 y el 10% del total de los costos de explotación [21].

La madera plástica atiende a las necesidades de soporte, peso y estructuración, esta tiene como propósito reemplazar el uso de madera natural como soportes estructurales. Su sustitución permite ciclos de tiempo apropiados para la renovación de bosques, disminuye la presión sobre estos sistemas naturales y conlleva a la reducción de la demanda por materias primas naturales. Por otra parte, se generan relaciones de apoyo a nuevas industrias en el mercado colombiano dedicadas a la recuperación y reutilización de materiales plásticos [22]. Sus características físicas:

- No se degrada al aire, ni por contacto con arena o agua, resistente a la humedad
- Vida útil de 100 años, no requiere mantenimiento para su conservación
- Buena resistencia mecánica, material duradero, inmune a microorganismos, roedores e insectos, seguro, no se agrieta ni produce astilla. Pírorresistente: alta resistencia al fuego y a los procesos de voladuras.
- Contribuye a mejorar la seguridad laboral, pues este material presenta características más duraderas para su uso en las estructuras de las minas.

#### *4.1.2. Propuestas para el manejo de los impactos operacionales del explosivo indugel*

De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que el proceso que mayor genera afectaciones al ambiente es el asociado a los procesos de voladuras con el explosivo indugel. Entre las principales afectaciones se encuentran la inhalación de sustancias orgánicas e inorgánicas debido al material particulado

generado por las voladuras. Además de efectos ionizantes, la acidificación del suelo y generación de drenajes ácidos al agua por residuos de compuestos químicos como óxidos de nitrógeno, aluminio y amonio, provenientes de la reacción de la voladura con explosivo indulgel. Así mismos impactos como vibraciones en el suelo, ruido, explosión de aire sobre presión, voladura de rocas sin control, generación de grandes cantidades de estériles y respuesta humana [23].

En el proceso de voladura con explosivos convencionales se generan grandes cantidades de material rocoso sin tamaños predeterminados, por lo cual su manejo aumenta los costos de extracción desde el interior de la mina hacia los patios de estériles y dificulta el desarrollo de los procesos de lavado y separación de acuerdo con el tamaño.

Por esto, se realizó una búsqueda de alternativas para la realización de voladuras con menor impacto sobre el ambiente y la salud del personal minero, que mejore la eficiencia del proceso de explotación. A partir de esto se encontró que existen en el mercado tecnologías que mejoran significativamente este proceso. Una de estas son los detonadores electrónicos (DE). Dentro de las principales marcas del mercado se encuentra el Sistema eDev II Electronic Tunnel Blasting System, para la aplicación en desarrollo de túneles. El sistema provee de la precisión y flexibilidad del timing electrónico con operaciones rápidas y fáciles en túneles. Con su aplicación se aumentan la seguridad, eficiencia y rendimiento. Por medio de este se puede hacer un diseño de voladura que produzca el tamaño de fragmentación requerida por parte del proceso, reduciendo significativamente la cantidad de estériles en las escombreras y optimiza los demás procesos (Orica, 2018). Sus ventajas son:

- Mejora de la uniformidad del tamaño de las partículas
- Aumento de la productividad de la excavación.
- Ahorro de costos en operaciones de excavación
- Fragmentación mejorada en la pila de escombreras.

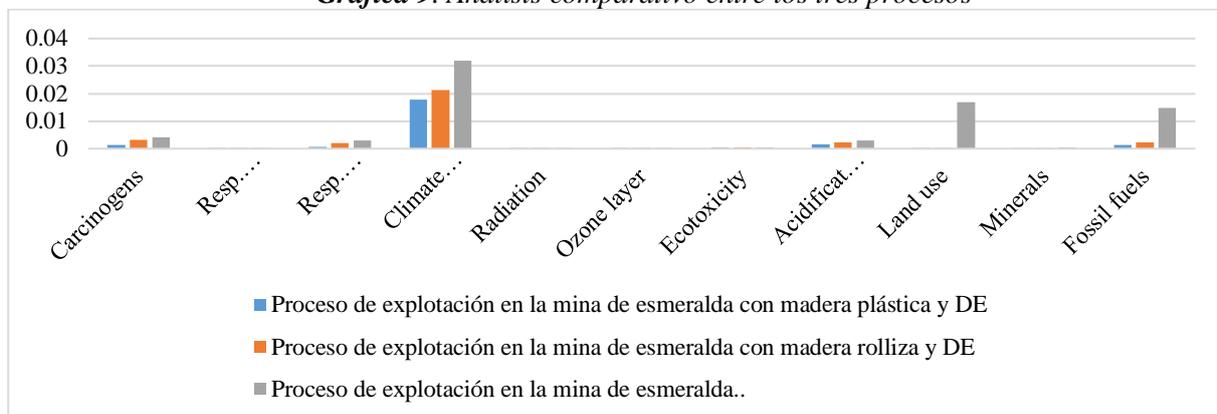
- Control mejorado de las vibraciones inducidas por la explosión y del chorro de aire.
- No hay exposición física humana a la voladura (Orica, 2018).

#### 4.2. Simulación de escenarios con propuestas tecnológicas

Para la construcción de los escenarios, se buscó analizar el comportamiento de las cargas ambientales sustituyendo la madera de cuatro puntas por la madera rolliza con diseño propsetter y/o la madera plástica, y para el caso de la dinamita por DE. Se calcularon los datos a introducir en el software SimaPro, en cada una de las propuestas tecnológicas. Posteriormente se muestra la comparación de la simulación del CV de la explotación, con la madera rolliza y el DE, la madera plástica y el DE, y el actual proceso de explotación para identificar cual genera menor carga ambiental.

El análisis comparativo con el uso de las tres propuestas tecnológicas (madera rolliza con sistema propsetter, madera plástica y DE), se desarrolló poniendo las entradas de las simulaciones: madera rolliza y DE, madera plástica y DE y el proceso de explotación con las previas entradas (madera y explosivo indulgel), se modelaron estos tres procesos sin la entrada del insumo extracción para analizar detalladamente los otros insumos (Gráfica 9). Allí se pudo observar una ventaja en la implementación de las propuestas tecnológicas, en la categoría de impacto cambio climático muestra que cerca del 20% de la carga ambiental disminuye. En la categoría de impacto recursos fósiles la carga ambiental disminuye alrededor del 77% con las propuestas. Entre las dos simulaciones, la simulación con madera plástica y DE, presenta una leve ventaja en cuanto a menos carga ambiental, frente a la de la simulación con madera rolliza y DE, esto se debe principalmente porque en el proceso de la madera rolliza se emplea la combustión de un recurso no renovable (Diesel). A pesar de esto, la importante reducción en aspectos relacionados con la salud humana debe considerarse a la hora de analizar el impacto en la salud y calidad de vida de los involucrados

**Gráfica 9. Análisis comparativo entre los tres procesos**



**Fuente:** Elaborado por Autor en el software SimaPro

### 4.3. Análisis Financiero

Este análisis comprende la implementación de las tres propuestas descritas en el apartado 4.1. Para esto, se realizó la estimación de inversión de cada medida tecnológica, a partir de esta información se hizo la diferencia de costos entre los nuevos insumos de dichas medidas y los que se utilizan actualmente en la empresa. Finalmente, se agrega el análisis financiero para la inversión de las medidas aplicando los indicadores Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación (PR), utilizando hojas de cálculo en el software Excel.

El análisis financiero, se realizó para las propuestas tecnológicas descritas anteriormente y que están asociadas al cambio de madera de eucalipto por madera plástica o por madera rolliza con el modelo Propsetter, así como el cambio del explosivo indugel por el sistema de detonación electrónica.

En este análisis se contemplaron los costos de cada una de las propuestas, los cuales fueron recogidos por medio de cotizaciones proporcionadas por algunas empresas. Se tuvo en cuenta el consumo anual por cada una de las propuestas para continuar la operación minera sin disminuir el avance promedio de explotación. De igual

forma, se realizó una comparación de cada una de las propuestas tecnológicas teniendo en cuenta la diferencia en costos con respecto al insumo actual.

#### a. Estimación de la inversión

Para estimar la inversión de cada una de las propuestas tecnológicas se tuvo en cuenta el consumo anual actual para la operación de la mina de esmeraldas y se consideraron los rendimientos que genera cada una de las propuestas con respecto a este. En el caso del sistema de detonación electrónica se consideró el consumo anual requerido en cajas para la operación y se contabilizó el valor de los equipos que se adquieren una sola vez. En la madera se consideraron los consumos actuales y en la madera rolliza con sistema Propsetter se tuvieron en cuenta los rendimientos en el consumo que genera la implementación de este sistema.

De acuerdo con la tabla 2 se puede apreciar que la inversión del sistema de detonación electrónica tiene un costo de \$46.049.715 COP, la madera plástica supone una inversión de \$41.137.125 COP y la inversión requerida para la madera rolliza con modelo Propsetter es de \$97.641.854 COP.

**Tabla 2. Presupuesto de inversión de las propuestas**

Propuestas Tecnológicas				
Propuestas	Cantidad anual	Ud	Valor unitario	Valor total
Propuesta 1. Detonador electrónico				
eDev II detonadores (cajas de 40 ud)	12,2	Cajas	\$ 1.627.384	\$ 19.854.080
Blast Box 610	1	Equipo (se compra una vez)	\$ 11.675.913	\$ 11.675.913
eDev™ II Tester	1	Equipo (se compra una vez)	\$ 5.101.952	\$ 5.101.952
Scanner 260	1	Equipo (se compra una vez)	\$ 9.417.771	\$ 9.417.771
Subtotal				\$ 46.049.715
Propuesta 2. Madera plástica				
Madera plástica	3025	Postes	\$ 3.285	\$ 9.937.125
Transporte	24	Viajes	\$ 1.300.000	\$ 31.200.000
Subtotal				\$ 41.137.125
Propuesta 3. Madera rolliza con modelo Propsetter				
Madera rolliza	1220	Postes	\$ 40.000	\$ 48.800.000
Base de madera	3	Metros cúbicos	\$ 1.284	\$ 626.592
Alambre de acero	1806	Metros	\$ 1.652	\$ 2.983.512
Transporte	24	Viajes	\$ 1.884.656	\$ 45.231.750

**Fuente:** Autor

#### b. Comparación económica entre los insumos empleados en la operación del 2016 y las propuestas presentadas

Adicionalmente, en la tabla 3 se realizó una comparación de las diferencias económicas entre los insumos empleados en la operación del 2016 y las propuestas presentadas. Para el caso del explosivo Indugel comparado con el sistema de detonación

electrónica se obtiene una diferencia en el costo de \$11.370.285 COP. La madera de eucalipto comparada con la madera plástica arroja una diferencia de \$64.594.625 COP y finalmente la diferencia entre la madera de eucalipto y la rolliza con modelo Propsetter es de \$8.089.896 COP.

**Tabla 3. Comparación de propuestas tecnológicas**

<b>Comparación</b>	
<b>Insumo</b>	<b>Costo Anual</b>
Explosivo Indugel	\$ 57.420.000
Detonador electrónico	\$ 46.049.715
<b>Diferencia con DE</b>	<b>\$ 11.370.285</b>
Madera eucalipto	\$ 60.500.000
Transporte madera eucalipto	\$ 45.231.750
Subtotal	\$ 105.731.750
Madera plástica	\$ 9.937.125
Transporte madera plástica	\$ 31.200.000
Subtotal	\$ 41.137.125
<b>Diferencia Madera plástica (MP)</b>	<b>\$ 64.594.625</b>
Madera rolliza y Propsetter	\$ 52.410.104
Transporte madera rolliza	\$ 45.231.750
Subtotal	\$ 97.641.854
<b>Diferencia con madera rolliza y Propsetter (MRP)</b>	<b>\$ 8.089.896</b>

**Fuente:** Autor

De acuerdo con lo anterior se evidencia que en el caso del cambio de la madera de eucalipto por la madera plástica presenta una mayor diferencia en los costos que la madera rolliza con modelo Propsetter. Y la implementación del sistema de detonación electrónica genera una disminución significativa con respecto al explosivo Indugel.

#### 4.4. Discusión de resultados

Cabe resaltar que, por motivos de alcance del estudio y técnicos del software, esta discusión de resultados desprecia los insumos suelo y agua.

Para el insumo suelo, en la categoría uso de suelo, este presenta la mayor carga ambiental de todo en el proceso de explotación por la actividad de transformación del suelo que la empresa minera ejerce sobre este, no se contempla una propuesta de mejoramiento para esta carga ambiental, puesto que le corresponde a la empresa mitigarlos mediante la ejecución del plan de manejo ambiental incluido en la licencia ambiental del proyecto minero. Sin embargo, cabe aclarar, que la recuperación total del territorio transformado solo es posible si se realiza una rehabilitación adecuada, esta misma declaración la realiza el estudio de ACV realizado a cuatro minas de carbón (2 a cielo abierto y 2 subterráneas) en Sudáfrica por Mangena & Brent (2006). Donde afirma que las operaciones de extracción mineral no pueden abordar la alta carga ambiental para la categoría uso del suelo en gran medida, debido a la naturaleza inherente de la industria. Así mismo, la ocupación de una gran área de tierra se atribuye a la geología del mineral explotado y de ahí los residuos minerales. Por lo tanto, la carga ambiental generada en el grupo de recursos del suelo puede ser de un valor insignificante para la industria minera.

Con respecto al insumo agua, no se evidencia carga ambiental en ninguna de las categorías de impacto, debido a que el software SimaPro no contempla en sus

bibliotecas información necesaria acerca de impactos sobre el agua, el software solo contiene la herramienta huella hídrica relacionada a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI); por ello futuros estudios como muestreo directo en la fuente hídrica afectada y uso de la técnica de huella hídrica en el software, son necesarios para evaluar este insumo que podría estar entre los más afectados a largo del CV del proceso de explotación en la empresa caso de Estudio.

Por otro lado, el consumo de Diesel en la maquinaria para la producción de madera es la principal fuente de agotamiento de combustibles fósiles, tomando el 29.6 % de toda este. De acuerdo con el estudio de Hélio & García (2015), esto podría sugerir la adopción de un mayor uso de biodiésel como alternativa para minimizar el “cambio climático” y los impactos del “consumo de combustibles fósiles”. Sin embargo, el combustible de la planta de actividades mineras podría ser menor al que tiene otros impactos relacionados con las plantaciones de cultivos extensivos, por ejemplo, "uso de la tierra" y "emisiones de sustancias cancerígenas", estos aspectos deben ser considerados antes de llevar a cabo un simple intercambio de combustible. Igualmente, los resultados también muestran cómo se puede influir en los insumos e impactos asociados la cadena de explotación. Es decir, en la mayoría de los casos, el menor uso de entradas en un proceso puede ser más significativo para la conservación del medio ambiente que la limitación de su producción propia [8].

En el desarrollo de un estudio de ACV en la industria minera se deben asumir algunas variables las cuales hacen resaltar algunos puntos débiles del método ACV. Por ejemplo, en la etapa de ICV la introducción de datos de segundo plano, represento para este estudio algunas limitaciones, ya sea porque se obtuvieron por medio de fuentes secundarias, se asumieron o se despreciaron por temas de subjetividad y complejidad. Esto es también discutido en diferentes estudios, donde se estimaron o asumieron algunos datos para obtener una información completa de sus procesos y alimentar los requerimientos del ICV [24] [25].

No obstante, el estudio de ACV permitió generar una visión clara acerca de los impactos y mejoras de esta actividad, como se hizo en la identificación de los cuatro insumos con mayor carga ambiental, explosivo, madera, cemento y gasolina de esta manera fue posible proponer estrategias tecnológicas de gestión ambiental que contribuyan a mejorar el desempeño ambiental de la empresa, y así mismo dichas propuestas pueden ser replicadas en otras compañías mineras de similares condiciones [26].

La investigación en ACV y el fortalecimiento del sector minero, pueden contribuir para que este sector desarrolle estrategias de mayor eficiencia en la utilización de recursos enfocadas hacia la gestión ambiental

empresarial, la cual debe contemplar todos los agentes en la cadena de valor de las operaciones mineras hasta los fabricantes de equipos. Así mismo, de acuerdo con todo el proceso investigativo se evidenció que es prioridad fortalecer las instituciones de investigación de ACV para que estas logren la consolidación de bases de datos para Colombia, con el fin de generar proyectos de acuerdo con las situaciones específicas del país, proporcionar datos de fácil acceso y herramientas analíticas para estudios de investigación ambiental.

#### 4.5. Conclusiones

Por medio de la aplicación de la metodología ACV en el estudio del proceso de explotación de la mina de esmeraldas, se lograron identificar los puntos críticos del proceso (impactos ambientales significativos). Estos corresponden a la extracción, uso del explosivo Indugel en el proceso unitario de voladuras y la madera en el proceso de sostenimiento de túneles.

Así mismo se pudo observar que la mayor carga ambiental se encuentra sobre la categoría de impacto uso de suelo en todo el CV de la explotación, primordialmente por la transformación del suelo y el uso para la unidad funcional metro de avance.

En el proceso de la madera, la carga ambiental es del 29% en todo el CV del proceso de explotación, este se deriva principalmente de los procesos de combustibles asociados a la operación de la maquinaria empleada para la extracción del recurso. Igualmente, en el flujo del proceso del explosivo Indugel, la carga ambiental con 22.5% se deriva de los procesos de producción del nitrato de amonio, el cual es su principal componente y con respecto al proceso de cemento, su carga ambiental se deriva de los procesos contribuyentes como el proceso de producción de Clinker, el cual requiere de altos consumos de combustible.

Al excluir las entradas de explosivo y madera por su alta carga ambiental en el proceso de explotación, se pudo observar con mayor detalle las entradas cemento y gasolina las cuales se tomaron sobre el 20% y 10% respectivamente, así como el proceso de transporte con más del 20% en todas las categorías de impacto. De esta manera se identificó que el proceso de transporte toma casi el 45% de impacto en el uso de suelo sobre el proceso de explotación debido al transporte de la madera que es el material que se adquiere de mayor distancia.

Para disminuir dichas cargas ambientales, se demostró mediante un análisis financiero y la reevaluación de la carga ambiental que las propuestas Detonador Electrónico y madera plástica cumplen con las necesidades de la empresa ya que no solo son económicamente viables, sino que también disminuye significativamente los indicadores de sustancia

carcinógenas e insumos fósiles lo que da una mejora en sus aspectos ecológicos y responsabilidad social.

Con lo anteriormente expuesto, la empresa puede intervenir en sus aspectos de mejora para sus próximos 5 años de explotación, los cuales son los mínimos deseados por la misma. Finalmente, se puede deducir que el ACV es una herramienta idónea para obtener insumos en la planeación estratégica de la empresa objeto de estudio, teniendo como base la gestión ambiental empresarial. Esto se demuestra por medio de las propuestas tecnológicas planteadas, ya que demuestran su eficiencia en la reducción de consumos de materias primas e insumos y en la optimización del proceso extractivo. Además, se evidenció en el análisis financiero que la propuesta del sistema de detonación electrónica junto con la madera plástica genera altos rendimientos sobre su inversión, lo cual representa una aproximación de la rentabilidad de la incorporación de estrategias ambientales.

#### 4.6. Recomendación

Las siguientes recomendaciones fueron creadas con el fin de promover el cumplimiento de la normativa para el ambiente y la salud y seguridad en el trabajo de los empleados, así como el incentivo por la compra verde en cuanto a la madera.

Se recomienda a la empresa evaluar el cambio de madera de eucalipto por madera obtenida de empresas certificadas ambientalmente, si no se realiza el cambio a madera plástica, ya que la compra de productos responsables con el ambiente ha ido aumentando en los últimos años y es la preferencia por compradores. Así que la compra y el consumo responsable de madera legal o productos eco certificados, genera a la empresa minera beneficios tangibles e intangibles en responsabilidad social, económica y ambiental, permitiendo mejores resultados.

Actualmente, hay dos grandes tipos de certificaciones a nivel internacional, estas son Consejo de administración Forestal (FSC, por sus siglas en inglés) y Programa para el Reconocimiento de Certificación Forestal (PEFC, por sus siglas en inglés). En Colombia, existen empresas que cuentan con certificación aprobada por el FSC como Pizano S.A. y Smurfitkappa Cartón de Colombia quienes han recibido la certificación por el manejo de sus plantaciones con base en los principios, criterios e indicadores aprobados por dicha entidad [27].

Dado que la empresa objeto de estudio presenta altos consumos de agua por unidad de avance promedio y en la EICV no se evidenció ninguna carga ambiental atribuida a este, se recomienda realizar el cálculo de la huella hídrica del proceso de explotación de la mina, así

como un análisis para determinar la presencia de drenaje ácido de mina. Esto con el fin de obtener un estudio más detallado sobre la calidad de los vertimientos de la empresa.

Debido a la alta contribución del explosivo indulgel en la generación de (NOx, SOx y MP), se recomienda realizar un estudio de emisiones al aire y un estudio epidemiológico entre los trabajadores mineros para determinar la presencia de enfermedades asociadas a estas emisiones al aire.

Puesto que las propuestas de gestión ambiental evaluadas consistieron en un análisis parcial y de tipo cualitativo, se recomienda la evaluación de la rentabilidad de estas propuestas con un análisis financiero más detallado considerando otros indicadores de viabilidad económica.

#### 4.7. Limitaciones

Se encontraron limitaciones de información para realizar estudios de ACV en la industria minera. Esto conllevó a encontrar ciertas incertidumbres en los datos debido a que algunas bases de datos del software tuvieron que ser copiadas y modificadas para la adaptación de la información en el contexto de la minería en Colombia.

Debido al acuerdo de confidencialidad, no fue posible proporcionar el nombre de la empresa ni información económica puntual de la empresa debido a políticas de seguridad. Esto representó algunas limitaciones para la evaluación financiera de las propuestas.

#### 5. Agradecimientos

En esta sección se otorgan agradecimiento a la empresa quien suministro la información para el desarrollo del estudio y a las personas que contribuyeron a la elaboración de la investigación como el Ingeniero Kenneth Ochoa y Yuliana García.

#### REFERENCIAS

- [1] Giuliani, G., Marshall, D., & Groat, L. (2008). Emerald deposits and occurrences: A review. *Ore Geology Reviews*, 87–112. doi:10.1016 / j.oregeorev.2007.09.003
- [2] Fundación Avina. (2010, 12). Elementos diagnósticos para una caracterización de la minería en Colombia-Gestión Ambiental Estratégica. Bogotá, Colombia. Retrieved from Gestión Ambiental Estratégica: <http://mesadialogopermanente.org/wpcontent/uploads/2013/05/elementos-diagnostico-mineria-colombia-gae-avina.pdf>
- [3] FEDESARROLLO. (2008, 04 08). *La minería en Colombia impacto socioeconómico y fiscal*. Retrieved 13 04, 2016, from <http://www.fedesarrollo.org.co>
- [4] Botín, J. (2010, 04). *La Responsabilidad Social Corporativa, su significado en minería y su integración en el día-a-día de las operaciones* (392), 30-35. ISSN 1561-0888. Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas [hasta 2014]: Revista Minería.
- [5] Ingwersen, W. (2010). Advances in life cycle assessment and emergy evaluation with case studies in gold mining and pineapple production. Florida, USA.
- [6] Azapagic, A., Lehtinen, H., Pitts, M., Rouhiainen, J., & Saarentaus, A. (2011). A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs. Europe INNOVA.
- [7] Curran, M. (2012). *Lyfe Cycle Assesmet Handbook. A guide for environmentally sustainable products*. USA.
- [8] Hélio, F., & García, M. (2015). A Life Cycle Assessment study of iron ore mining. Elsevier Ltd.
- [9] Fraguela, J., Carral, L., Iglesias, G., Castro, A., & Rodríguez, J. (2011, 04 26). *La integración de los sistemas de gestión. Necesidad de una nueva cultura empresarial* (167), ISSN 0012-7353, 44-49. (S. Direct, Ed.) Medellín, Colombia.
- [10] Fedesmeraldas. (2015). Simposio Mundial y Marca Esmeralda. *Esmeralda*, 6, 22-25.
- [11] Fedesmeraldas (2016, 04 25). *Producción y explotación de esmeraldas se proyecta al alza*. Retrieved from Federación Nacional de Esmeraldas: <http://fedesmeraldas.com.co/produccion-y-exportacion-de-esmeraldas-se-proyecta-al-alza/>
- [12] Sampieri, H., Collado, F., & Baptista, L. (2010). Estudios de caso. In *La metodología de la investigación* (p. Capítulo 4). México: McGraw-Hill Interamericana.
- [13] ISO 14040. (2007). *Iso.org*. Retrieved 11 25, 2015, from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- [14] Du, G., & Karoumi, R. (2014). Life cycle assessment framework for railway bridges: literature survey and critical issues. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10.
- [15] Díaz, M. (2014). *Análisis de Ciclo de Vida. La ecología industrial. Teoría, concepto y herramientas*. Retrieved 12 10, 2015, from Biblioteca digital, Universidad Autónoma Metropolitana: [http://148.206.107.15/biblioteca\\_digital/capitulos/4235758djj.pdf](http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/4235758djj.pdf)
- [16] Thiebault, C. (2010). Design of railway bridges considering LCA. *KTH- Science, art &*

engineers. Stockholm, Sweden., Suecia:  
©Vincent Thiebault. Royal Institute of  
Technology (KTH). ISSN 1103-4297.

- [17] Barczak, T. (2010). *A RETROSPECTIVE ASSESSMENT OF LONGWALL ROOF SUPPORT WITH A FOCUS ON CHALLENGING ACCEPTED ROOF SUPPORT CONCEPTS AND DESIGN PREMISES*. Obtenido de Center for disease Control and Prevention (CDC): <https://www.cdc.gov/niosh/mining/userfiles/works/pdfs/araol.pdf>
- [18] McCartney, C. (1995). The design and application of propsetter in underground coal mines. In: *Proceedings of the 14th international conference on ground control in mining*. Morgantown, WV: *West Virginia University*, 1-13.
- [19] Strata. (05 de 04 de 2018). Propsetter® Yielding support system. USA
- [20] Brown, C. (2018). Development process for a higher capacity Propsetter system. *International Journal of Mining Science and Technology* 28, 121-126.
- [21] Bolivar, R., & Garcia, J. (2015). A Technical and Environmental Study of Fortified Structures Used in Coal Mining in Norte de Santander. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(38), 107-116.
- [22] REXCO. (Marzo de 2013). *PLAN DE EXPORTACIÓN DE MADERA PLÁSTICA HACIA EL PERÚ PRODUCTO DE LA EMPRESA REXCO S.A.S*. Obtenido de <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/001/2120/1/Plan%20exportadorde%20REXCO%20I.pdf>
- [23] Torres, F., Gozales, C., & Tapia, W. (2009). Aplicación del sistema electrónico eDev II en voladuras subterráneas: En *Mínera Suyamarca Unidad Pallancata*. *Seguridad Minera*, 48-56. doi:ISBN 978-987-24878-9-8
- [24] Hernández, A., & Rieznik, N. (2015). Ciudades para un Futuro más Sostenible. En *Análisis del ciclo de vida*. Madrid, España.
- [25] Erkayaoglu, M., & Demirel, N. (2016). A comparative life cycle assessment of material handling systems for sustainable mining. *Journal of Environmental Management* 174 , 1-6.
- [26] Adekpedjou, K., & Awuah, A. (2010). Application of life cycle assessment in the mining industry. En *Life Cycle Assess*, 16(1). (págs. 82-89). doi:10.1007/s11367-010-0246-6
- [27] MinAgricultura. (Enero de 2015). *COLOMBIA: Potencial de Reforestación Comercial*. Obtenido de MinAgricultura:

<https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Potencial%20de%20Reforestacio%CC%81n%20Comercial%20en%20Colombia.pdf>

**SUSTENTACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO**

**ACTA No: 940**

El día 11 de mayo de 2018, se reunieron en las instalaciones de la Universidad El Bosque los miembros del Comité de Trabajos de Grado del Programa de Ingeniería Ambiental, los jurados del proyecto de grado y **JESSICA PAOLA FLORES MURCIA** con cédula de ciudadanía **1.121.913.573**, con el fin de asistir a la sustentación del trabajo titulado **"ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA EXPLOTACIÓN DE ESMERALDA EN EL DISTRITO MINERO MUZO"**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Ambiental.

Dicho trabajo fue: **Aprobado.**

En constancia se firma en Bogotá, D. C. el 11 de mayo de 2018



**KENNETH OCHOA VARGAS**  
Director



**JHON FREDY ARIAS**  
Jurado



**GUSTAVO ANDRÉS CONTRERAS**  
Jurado



**KENNETH OCHOA VARGAS**  
Director, Programa  
Dirección  
Programa de Ingeniería Ambiental



**GERMAN AGUDELO ASCENCIO**  
Secretario Académico  
SECRETARÍA ACADÉMICA  
Facultad de Ingeniería