Proyecto “Modificación Proyecto Distrito Norte”

Declaración de Impacto Ambiental

Compañía Mantos de la Luna

Anexo 5.3 Cuantificación de GEI y SLFC

Documento elaborado para

Septiembre, 2026

Consultoría y Tecnología al Servicios del Medio Ambiente
San Sebastián 2839, of 305, Las Condes
contacto@csw.cl

Índice de contenido

1 Introducción 5

2 Estimación de emisiones del proyecto 5

2.1 Ecuación general para el cálculo de emisiones 5

2.2 Actividades o fuentes de emisión 6

2.3 Cronograma 6

2.4 Cronograma de las actividades emisoras 7

2.5 Cálculo de emisiones de fase de operación 7

2.5.1 Emisiones por combustión de maquinaria fuera de ruta 7

2.5.2 Emisiones por combustión de motores de vehículos 11

2.5.3 Resumen emisiones anuales 15

2.6 Cálculo de emisiones de fase de cierre 16

2.6.1 Emisiones por combustión de maquinaria fuera de ruta 16

2.6.2 Emisiones por combustión de motores de vehículos 17

2.6.3 Resumen emisiones anuales 19

2 Comparación con Inventario de gases de efecto invernadero (INGEI) 20

3 Conclusiones Estimación de GEI 23

4 Bibliografía 24

Índice de Tablas

Tabla 1. Actividades generadoras de emisiones 6

Tabla 2. Cronograma general 7

Tabla 3. Cronograma actividades fase de operación 7

Tabla 4 Factores de Emisión Maquinaria Fuera de Ruta 8

Tabla 5. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase operación año 1 al 3 Rajo 8

Tabla 6. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase operación año 1 al 5 UG 8

Tabla 7. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase operación año 6 al 28 UG 9

Tabla 8. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase operación año 1 al 3 Rajo 9

Tabla 9. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase operación año 1 al 5 UG 10

Tabla 10. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase operación año 6 al 28 UG 10

Tabla 11. Factores de emisión maquinaria fuera de ruta 11

Tabla 12. Nivel de actividad vehículos fase operación año 1 al 3 Rajo 12

Tabla 13. Nivel de actividad vehículos fase operación año 1 al 5 12

Tabla 14. Nivel de actividad vehículos fase operación año 6 al 28 UG 12

Tabla 15. Emisiones por vehículos (t/año) fase operación año 1 al 3 Rajo 13

Tabla 16. Emisiones por vehículos (t/año) fase operación año 1 al 5 13

Tabla 17. Emisiones por vehículos (t/año) fase operación año 6 al 28 UG 14

Tabla 18. Emisiones totales de GEI fase de operación 15

Tabla 19 Factores de Emisión Maquinaria Fuera de Ruta 16

Tabla 20. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase cierre 16

Tabla 21. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase cierre 17

Tabla 22. Factores de emisión combustión motores de vehículos 17

Tabla 23. Nivel de actividad vehículos fase cierre 18

Tabla 24. Emisiones por vehículos (t/año) fase cierre 18

Tabla 25. Emisiones totales de GEI fase de cierre 19

Tabla 26. Resultados INGEI 2022 región de Antofagasta 20

Tabla 27. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase operación Proyecto años 1 - 3 20

Tabla 28. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase operación Proyecto años 1 - 5 21

Tabla 29. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase operación Proyecto años 6-28 21

Tabla 30. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase cierre 21

1 Introducción

El objetivo del presente informe es cuantificar Gases de Efecto Invernadero (GEI) correspondientes a CO_2, N_2O y CH_4, además de gases fluorados (HFCs, PFCs y SF_6) que generará el Proyecto en cada una de sus fases, en base a lo expuesto en la "Guía metodológica para la estimación y reporte de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta" (SEA, 2025), y en la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA" (SEA, 2024) la cual expresa que "*Respecto de las emisiones de GEI y forzantes climáticos de vida corta, se recomienda al titular la cuantificación anual durante la vida útil del proyecto y el reporte de las emisiones directas de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), gases fluorados (HFC, PFC, SF_6), entre otros gases definidos en la CMNUCC, la Enmienda de Kigali o las que las reemplacen, según sean generados por el proyecto y sean relevantes para la evaluación. Esta cuantificación podría servir para adquirir compromisos ambientales voluntarios enfocados en la reducción, captura o neutralización de estas emisiones, mientras no entren en vigor las normas de emisión de GEI y forzantes climáticos de vida corta*."

De igual forma, la Ley N°21.455 o Ley Marco de Cambio Climático, la cual tiene por objetivo *"[…] hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero [...], adaptarse al cambio climático, reduciendo vulnerabilidad y aumentado la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático […]*" (énfasis agregado), establece la institucionalidad y los instrumentos de gestión para enfrentar el cambio climático, así también, mandata la consideración de la variable de cambio climático en los componentes del medio ambiente que resulten pertinentes en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

2 Estimación de emisiones del proyecto

2.1 Ecuación general para el cálculo de emisiones

La metodología utilizada para estimar las emisiones atmosféricas de GEI generadas por el Proyecto, corresponde a la señalada en los documentos "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero" (IPCC, 2006) y "Guía metodológica para la estimación y reporte de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta" (SEA, 2025).

La ecuación general empleada para la estimación de emisiones corresponde a la siguiente:

$$E_{i\,GEI} = fe_{in\,GEI} * Na_n * \left(1 - \frac{Ea_n}{100}\right) \qquad (Ec.1)$$

Dónde,

E_i = Emisión del gas de efecto invernadero i.

fe_{in} = Factor de emisión del gas de efecto invernadero i. en el proceso n.

Na_n = Nivel de actividad del proceso n.

Ea_n = Eficiencia de abatimiento del proceso n [%].

Las emisiones serán estimadas sobre una base anual (año cronológico: 12 meses corridos) de acuerdo con la programación para la realización de las distintas actividades del Proyecto, en toneladas por año.

2.2 Actividades o fuentes de emisión

A continuación, se presenta un listado de las principales actividades o fuentes de emisiones atmosféricas del Proyecto, especificando el tipo de contaminante asociado.

Tabla 1. Actividades generadoras de emisiones

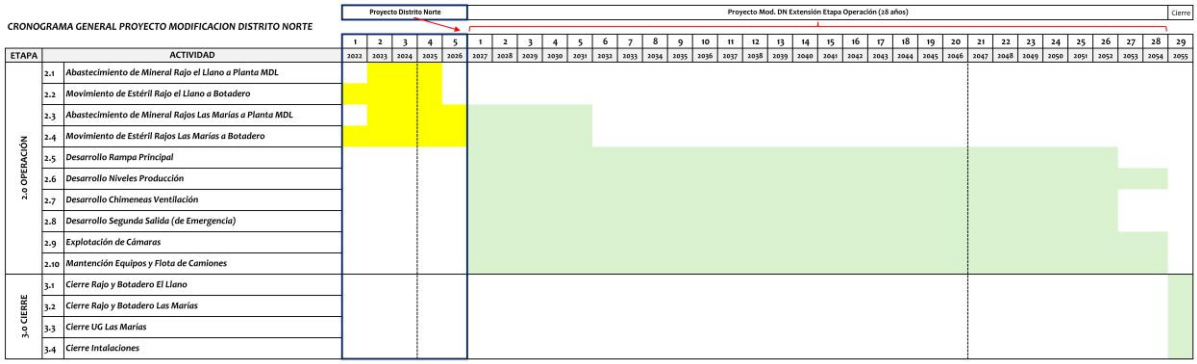
Fase	Actividad	Contaminantes
Operación Rajo años 1 - 3	Combustión motores maquinaria fuera de ruta	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
	Combustión motores de vehículos de transporte	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
Operación Mina años 1 - 5	Combustión motores maquinaria fuera de ruta	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
	Combustión motores de vehículos de transporte	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
Operación Mina años 6 - 28	Combustión motores maquinaria fuera de ruta	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
	Combustión motores de vehículos de transporte	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
Cierre	Combustión motores maquinaria fuera de ruta	CO_2, N_2O, CH_4 y BC
	Combustión motores de vehículos de transporte	CO_2, N_2O, CH_4 y BC

Fuente: Elaboración propia, en base a antecedentes entregados por el Titular, 2025.

2.3 Cronograma

A continuación, se presenta el cronograma general de las actividades del Proyecto.

Tabla 2. Cronograma general



Fuente: Elaboración propia, en base a antecedentes entregados por el Titular, 2025.

2.4 Cronograma de las actividades emisoras

A continuación, se presentan los cronogramas para as actividades emisoras de gases de efecto invernadero.

Tabla 3. Cronograma actividades fase de operación

Actividad	Meses (Primer año fase operación)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Combustión motores maquinaria fuera de ruta												
Combustión motores de vehículos de transporte												

Fuente: Elaboración propia, 2025.

2.5 Cálculo de emisiones de fase de operación

2.5.1 Emisiones por combustión de maquinaria fuera de ruta

La metodología para determinar las emisiones GEI asociados a la operación de maquinaria fuera de ruta, fue obtenida del informe "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, Combustión móvil" (IPCC, 2006).

2.5.1.1 Factores de emisión

A continuación, se presentan los factores de emisión para los GEI y FCVC provenientes de la operación de maquinaria fuera de ruta, los cuales se obtuvieron del Cuadro 3.3.1 del documento "Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero" (IPCC, 2006), donde se ilustran los factores de emisión para las fuentes y maquinarias móviles todo terreno. Para el caso del BC, el factor de emisión se obtuvo de la sección "1.A.4 Non road mobile machinery 2023" del documento "Emission Inventory Guidebook. - 2023" (EMEP/EEA, 2023).

Tabla 4 Factores de Emisión Maquinaria Fuera de Ruta

Equipo	Factor de emisión								
	Combustible	CO_2 (Kg/TJ)	N_2O (Kg/TJ)	CH_4 (Kg/TJ)	BC (% de MP2,5)	HFCs	PFCs	SF6	NF_3
Maquinaria industrial todo terreno	Diesel	74100	0,6	10	80%	-	-	-	-

Fuente: Guía Metodológica para la estimación y reporte de Gases de Efecto Invernadero y Forzantes Climáticos de Vida Corta" (SEA, 2025).

2.5.1.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad de la maquinaria fuera de ruta viene dado por el consumo de combustible de cada maquinaria.

Tabla 5. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase operación año 1 al 3 Rajo

Maquinaria	Potencia (kW)	Cantidad	Horas de funcionamiento fase operación (h/fase)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
EXCAVADORA, KOMATSU PC2000	728	2	13140	837,2
CARGADOR FRONTAL, CAT 950	188	1	5256	86,5
MOTONIVELADORA, CAT 160M	159	1	4380	60,9
BULLDOZER, CAT D8T	271	1	4380	103,9
PERFORADORA, EPIROC ROC L8	328	2	9124	261,9

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 6. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase operación año 1 al 5 UG

Maquinaria	Potencia (kW)	Cantidad	Horas de funcionamiento fase operación (h/fase)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
CARGADOR FRONTAL (des), VOLVO L120	203	2	13140	233,4
CARGADOR FRONTAL (prod), VOLVO L120	203	2	13140	233,4
JUMBO EPIROC 282	125	4	26280	293,2
DTH EPIROC 1254	70	2	13140	83,7
SIMBA EPIROC 282	125	3	19710	219,9

Maquinaria	Potencia (kW)	Cantidad	Horas de funcionamiento fase operación (h/fase)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
ACUÑADOR (Jdeere 310)	69	3	15768	99,0
EQUIPO LEVANTE JCV	64	4	21024	122,5
MIXER (Putzmeister)	130	1	4380	50,8
ROBOSHOTCRET (Putzmeister)	37	1	4380	14,8

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 7. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase operación año 6 al 28 UG

Maquinaria	Potencia (kW)	Cantidad	Horas de funcionamiento fase operación (h/fase)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
CARGADOR FRONTAL (des), VOLVO L120	203	2	10950	194,5
CARGADOR FRONTAL (prod), VOLVO L120	203	2	10950	194,5
JUMBO EPIROC 282	125	4	21900	244,4
DTH EPIROC 1254	70	2	10950	69,8
SIMBA EPIROC 282	125	3	16425	183,3
ACUÑADOR (Jdeere 310)	69	3	13140	82,5
EQUIPO LEVANTE JCV	64	4	17520	102,1
MIXER (Putzmeister)	130	1	3650	41,5
ROBOSHOTCRET (Putzmeister)	37	1	3650	12,3

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.5.1.3 Emisiones por año

Las emisiones totales de GEI generadas por la maquinaria fuera de ruta durante la fase de operación del Proyecto resultan de:

Tabla 8. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase operación año 1 al 3 Rajo

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
EXCAVADORA, KOMATSU PC2000	62035,19	0,502	8,37	0,38	-	-	-	-
CARGADOR FRONTAL, CAT 950	6408,03	0,052	0,86	0,13	-	-	-	-

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
MOTONIVELADORA, CAT 160M	4516,30	0,037	0,61	0,09	-	-	-	-
BULLDOZER, CAT D8T	7697,59	0,062	1,04	0,15	-	-	-	-
PERFORADORA, EPIROC ROC L8	19407,54	0,157	2,62	0,39	-	-	-	-
TOTAL	**100064,65**	**0,81**	**13,50**	**1,14**	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 9. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase operación año 1 al 5 UG

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
CARGADOR FRONTAL (des), VOLVO L120	17298,27	0,140	2,33	0,29	-	-	-	-
CARGADOR FRONTAL (prod), VOLVO L120	17298,27	0,140	2,33	0,29	-	-	-	-
JUMBO EPIROC 282	21729,36	0,176	2,93	0,85	-	-	-	-
DTH EPIROC 1254	6203,52	0,050	0,84	0,24	-	-	-	-
SIMBA EPIROC 282	16297,02	0,132	2,20	0,32	-	-	-	-
ACUÑADOR (Jdeere 310)	7337,88	0,059	0,99	0,35	-	-	-	-
EQUIPO LEVANTE JCV	9074,86	0,073	1,22	0,44	-	-	-	-
MIXER (Putzmeister)	3766,42	0,030	0,51	0,15	-	-	-	-
ROBOSHOTCRET (Putzmeister)	1093,00	0,009	0,15	0,04	-	-	-	-
TOTAL	**100098,60**	**0,81**	**13,51**	**2,97**	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 10. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase operación año 6 al 28 UG

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
CARGADOR FRONTAL (des), VOLVO L120	14415,23	0,117	1,95	0,24	-	-	-	-
CARGADOR FRONTAL (prod), VOLVO L120	14415,23	0,117	1,95	0,24	-	-	-	-

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
JUMBO EPIROC 282	18107,80	0,147	2,44	0,71	-	-	-	-
DTH EPIROC 1254	5169,60	0,042	0,70	0,20	-	-	-	-
SIMBA EPIROC 282	13580,85	0,110	1,83	0,27	-	-	-	-
ACUÑADOR (Jdeere 310)	6114,90	0,050	0,83	0,29	-	-	-	-
EQUIPO LEVANTE JCV	7562,38	0,061	1,02	0,36	-	-	-	-
MIXER (Putzmeister)	3077,14	0,025	0,42	0,07	-	-	-	-
ROBOSHOTCRET (Putzmeister)	910,83	0,007	0,12	0,04	-	-	-	-
TOTAL	**83353,96**	**0,67**	**11,25**	**2,42**	**-**	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.5.2 Emisiones por combustión de motores de vehículos

Para la estimación de las emisiones atmosféricas producto de la combustión interna de vehículos de transporte, se utilizará la metodología descrita en el documento "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, Combustión móvil" (IPCC, 2006).

2.5.2.1 Factores de emisión

A continuación, se presentan los factores de emisión para los GEI y FCVC provenientes de los motores de vehículo de transporte, los cuales se obtuvieron de la "Guía Metodológica para la estimación y reporte de Gases de Efecto Invernadero y Forzantes Climáticos de Vida Corta" (SEA, 2025).

Tabla 11. Factores de emisión maquinaria fuera de ruta

Factores de emisión										
Equipo	Combustible	Tecnología	CO_2 (Kg/TJ)	N_2O (mg/km)	CH_4 (mg/km)	BC (% de MP2,5)	HFCs	PFCs	SF6	NF_3
Camiones pesados y autobuses	Diésel	Euro 5	74100	0,6	10	10 – 15%	-	-	-	-
Camionetas	Diésel	Euro 5	74100	0,6	10	10 – 15%	-	-	-	-

Fuente: Cuadro 3.2.1 y Cuadro 3.2.5, Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero –Volumen 2, Combustión móvil (IPCC, 2006).

2.5.2.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad de las emisiones de GEI por la combustión de los motores de vehículos, viene dado por el consumo de combustible, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 12. Nivel de actividad vehículos fase operación año 1 al 3 Rajo

Vehículo	Total viajes ida y vuelta	Distancia recorrida por viajes (Km)	Distancia total recorrida (Km)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
CAEX, CAT 777F	61153	1	61153	5,6
Camión Batea, MBENZ NEW ACTROS 1840	7300	14,5	105850	9,6
Camioneta, Mitsubishi L200	3650	2	7300	0,2
Camión Fábrica, MACK	292	19,7	5752	0,5
Camión, Chevrolet NPR	292	20	5840	0,1
Camión Aljibe, MBENZ ACTROS	1460	17,9	26134	2,4

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 13. Nivel de actividad vehículos fase operación año 1 al 5

Vehículo	Total viajes ida y vuelta	Distancia recorrida por viajes (Km)	Distancia total recorrida (Km)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
Camión Tolva, MBenz Actros 4144	21900	1	21900	2,0
Camión Tolva, MBenz Actros 4144	14600	14,5	211700	19,3
Camioneta O&M, Mitsubishi L200	3650	2	7300	0,2
Camioneta Servicios, Mitsubishi L200	292	2	584	0,01
Camioneta Explosivos, Mitsubishi L200	292	20	5840	0,1
Camión Aljibe, Mbenz Actros 4144	1460	17,9	26134	2,4

Fuente: Elaboración propia en base a IPCC (2006).

Tabla 14. Nivel de actividad vehículos fase operación año 6 al 28 UG

Vehículo	Total viajes ida y vuelta	Distancia recorrida por viajes (Km)	Distancia total recorrida (Km)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
Camión Tolva (estéril), MBenz Actros 4144	7300	1	7300	0,7
Camión Tolva (mx), MBenz Actros 4144	14600	14,5	211700	19,3
Camioneta O&M, Mitsubishi L200	1460	2	2920	0,1

Vehículo	Total viajes ida y vuelta	Distancia recorrida por viajes (Km)	Distancia total recorrida (Km)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
Camioneta Servicios, Mitsubishi L200	292	2	584	0,01
Camioneta Explosivos, Mitsubishi L200	730	20	14600	0,3
Camion Aljibe, Mbenz Actros 4144	1460	17,85	26061	2,4

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.5.2.3 Emisiones fase operación

Las emisiones totales de GEI producto de la combustión de los motores de los vehículos que se utilizarán en la fase de operación del Proyecto resultan de:

Tabla 15. Emisiones por vehículos (t/año) fase operación año 1 al 3 Rajo

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
CAEX, CAT 777F	412,28	0,0033	0,056	0,0001	-	-	-	-
Camión Batea, MBENZ NEW ACTROS 1840	713,63	0,01	0,10	0,0003	-	-	-	-
Camioneta, Mitsubishi L200	12,00	0,00	0,00	0,0000	-	-	-	-
Camión Fábrica, MACK	38,78	0,00	0,01	0,000015	-	-	-	-
Camión, Chevrolet NPR	9,60	0,00	0,00	0,000001	-	-	-	-
Camión Aljibe, MBENZ ACTROS	176,19	0,00	0,02	0,0001	-	-	-	-
TOTAL	**1362,49**	**0,01**	**0,18**	**0,0004**	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 16. Emisiones por vehículos (t/año) fase operación año 1 al 5

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
Camión Tolva, MBenz Actros 4144	147,65	0,00120	0,0199	0,00000007	-	-	-	-
Camión Tolva, MBenz Actros 4144	1427,25	0,01156	0,1926	0,00000187	-	-	-	-
Camioneta O&M, Mitsubishi L200	12,00	0,00010	0,0016	0,00058079	-	-	-	-

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
Camioneta Servicios, Mitsubishi L200	0,96	0,00001	0,0001	0,00002095	-	-	-	-
Camioneta Explosivos, Mitsubishi L200	9,60	0,00008	0,0013	0,00000936	-	-	-	-
Camión Aljibe, Mbenz Actros 4144	176,19	0,00143	0,0238	0,00001032	-	-	-	-
TOTAL	1773,6556	0,0144	0,2394	0,00062336	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

Tabla 17. Emisiones por vehículos (t/año) fase operación año 6 al 28 UG

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
Camión Tolva (estéril), MBenz Actros 4144	49,22	0,00040	0,0066	0,00000007	-	-	-	-
Camión Tolva (mx), MBenz Actros 4144	1427,25	0,01156	0,1926	0,00000187	-	-	-	-
Camioneta O&M, Mitsubishi L200	4,80	0,00004	0,0006	0,00058079	-	-	-	-
Camioneta Servicios, Mitsubishi L200	0,96	0,00001	0,0001	0,00002095	-	-	-	-
Camioneta Explosivos, Mitsubishi L200	24,01	0,00019	0,0032	0,00000936	-	-	-	-
Camion Aljibe, Mbenz Actros 4144	175,70	0,00142	0,0237	0,00001032	-	-	-	-
TOTAL	1681,9346	0,0136	0,2270	0,0006	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.5.3 Resumen emisiones anuales

A continuación, se presenta un resumen de la estimación de emisiones de GEI para la fase de operación del Proyecto.

Tabla 18. Emisiones totales de GEI fase de operación

Años	FASE OPERACIÓN	Emisiones (t/año)							
	Actividad	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6	NF3
1 – 3 (Rajo)	Operación de maquinaria fuera de ruta	200163,25	1,62	27,01	4,11	-	-	-	-
	Combustión de vehículos	3136,15	0,03	0,42	0,001	-	-	-	-
	TOTAL	**203299,39**	**1,65**	**27,44**	**4,11**	**-**	-	-	-
1 – 5 (Mina)	Operación de maquinaria fuera de ruta	100098,60	0,81	13,51	2,97	-	-	-	-
	Combustión de vehículos	1773,66	0,01	0,24	0,001	-	-	-	-
	TOTAL	**101872,26**	**0,825**	**13,748**	**2,9682**	-	-	-	-
6 – 28 (Mina)	Operación de maquinaria fuera de ruta	83353,96	0,67	11,25	2,42	-	-	-	-
	Combustión de vehículos	1681,93	0,01	0,23	0,001	-	-	-	-
	TOTAL	**85035,90**	**0,69**	**11,48**	**2,42**	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.6 Cálculo de emisiones de fase de cierre

2.6.1 Emisiones por combustión de maquinaria fuera de ruta

La metodología para determinar las emisiones GEI asociados a la operación de maquinaria fuera de ruta, fue obtenida del informe "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, Combustión móvil" (IPCC, 2006).

2.6.1.1 Factores de emisión

A continuación, se presentan los factores de emisión para los GEI y FCVC provenientes de la operación de maquinaria fuera de ruta, los cuales se obtuvieron del Cuadro 3.3.1 del documento "Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero" (IPCC, 2006), donde se ilustran los factores de emisión para las fuentes y maquinarias móviles todo terreno. Para el caso del BC, el factor de emisión se obtuvo de la sección "1.A.4 Non road mobile machinery 2023" del documento "Emission Inventory Guidebook. - 2023" (EMEP/EEA, 2023).

Tabla 19 Factores de Emisión Maquinaria Fuera de Ruta

Equipo	Factor de emisión								
	Combustible	CO_2 (Kg/TJ)	N_2O (Kg/TJ)	CH_4 (Kg/TJ)	BC (% de MP2,5)	HFCs	PFCs	SF6	NF_3
Maquinaria industrial todo terreno	Diesel	74100	0,6	10	80%	-	-	-	-

Fuente: Guía Metodológica para la estimación y reporte de Gases de Efecto Invernadero y Forzantes Climáticos de Vida Corta" (SEA, 2025).

2.6.1.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad de la maquinaria fuera de ruta viene dado por el consumo de combustible de cada maquinaria.

Tabla 20. Nivel de actividad operación maquinaria fuera de ruta fase cierre

Maquinaria	Potencia (kW)	Cantidad	Horas de funcionamiento fase cierre (h/fase)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
EXCAVADORA, KOMATSU PC-450	263	1	810	18,6
MOTONIVELADORA, CAT 160M	159	1	240	3,4

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.6.1.3 Emisiones por año fase de cierre

Las emisiones totales de GEI generadas por la maquinaria fuera de ruta durante la fase de cierre del Proyecto resultan de:

Tabla 21. Emisiones por maquinaria fuera de ruta (t/año) fase cierre

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
EXCAVADORA, KOMATSU PC-450	1381,50	0,011	0,19	0,02	-	-	-	-
MOTONIVELADORA, CAT 160M	252,42	0,002	0,03	0,00	-	-	-	-
TOTAL	1633,92	0,01	0,22	0,02	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.6.2 Emisiones por combustión de motores de vehículos

Para la estimación de las emisiones atmosféricas producto de la combustión interna de vehículos de transporte, se utilizará la metodología descrita en el documento "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, Combustión móvil" (IPCC, 2006).

2.6.2.1 Factores de emisión

A continuación, se presentan los factores de emisión para los GEI y FCVC provenientes de los motores de vehículo de transporte, los cuales se obtuvieron de la "Guía Metodológica para la estimación y reporte de Gases de Efecto Invernadero y Forzantes Climáticos de Vida Corta" (SEA, 2025).

Tabla 22. Factores de emisión combustión motores de vehículos

Factores de emisión										
Equipo	Combustible	Tecnología	CO_2 (Kg/TJ)	N_2O (mg/km)	CH_4 (mg/km)	BC (% de MP2,5)	HFCs	PFCs	SF6	NF_3
Camiones pesados y autobuses	Diésel	Euro 5	74100	0,6	10	10 – 15%	-	-	-	-
Camionetas	Diésel	Euro 5	74100	0,6	10	10 – 15%	-	-	-	-

Fuente: Cuadro 3.2.1 y Cuadro 3.2.5, Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero –Volumen 2, Combustión móvil (IPCC, 2006).

2.6.2.2 Nivel de actividad

El nivel de actividad de las emisiones de GEI por la combustión de los motores de vehículos, viene dado por el consumo de combustible, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 23. Nivel de actividad vehículos fase cierre

Vehículo	Total viajes ida y vuelta	Distancia recorrida por viajes (Km)	Distancia total recorrida (Km)	Consumo combustible (TJ diesel/ año)
Camión Aljibe, MBENZ ACTROS	60	35,70	2142	0,2
Camioneta O&M, Mitsubishi L200	90	20,00	1800	0,04

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.6.2.3 Emisiones por año fase de cierre

Las emisiones totales de GEI producto de la combustión de los motores de los vehículos que se utilizarán en la fase de cierre del Proyecto resultan de:

Tabla 24. Emisiones por vehículos (t/año) fase cierre

Equipo	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PFCs	SF6	NF3
Camión Aljibe, MBENZ ACTROS	14,44	0,00	0,00	0,000006	-	-	-	-
Camioneta O&M, Mitsubishi L200	2,96	0,00	0,00	0,0000002	-	-	-	-
TOTAL	17,4009	0,0001	0,0023	0,00001	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2.6.3 Resumen emisiones anuales

A continuación, se presenta un resumen de la estimación de emisiones de GEI para la fase de cierre del Proyecto.

Tabla 25. Emisiones totales de GEI fase de cierre

FASE CIERRE	Emisiones (t/año)							
Actividad	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6	NF3
Operación de maquinaria fuera de ruta	1633,92	0,01	0,22	0,02	-	-	-	-
Combustión de vehículos	17,40	0,0001	0,002	0,00001	-	-	-	-
TOTAL	**1651,32**	**0,01**	**0,22**	**0,02**	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2025).

2 Comparación con Inventario de gases de efecto invernadero (INGEI)

Los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (INGEI) consisten en un listado numérico exhaustivo de la contabilización de cada uno de los GEI antropógenos liberados o absorbidos desde la atmósfera en un área y en un período específico, generalmente correspondiente a un año calendario. Estos INGEI tienen por objetivo determinar la magnitud de las emisiones y absorciones de GEI nacionales que son atribuibles directamente a la actividad humana y la contribución específica del país al fenómeno del cambio climático.

El último "Informe del Inventario Nacional de Chile 2022: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2022", fue publicado por SNI Chile el año 2024. En este documento se informan los resultados del INGEI a nivel nacional, como también a nivel regional y por sector productivo. Para el caso de la región de Antofagasta, los resultados del inventario año 2022 se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 26. Resultados INGEI 2022 región de Antofagasta

Contaminante	CO_2 equivalente (Mton/año)
CO_2 equivalente (Mton/año) Total región de Antofagasta 2022	19,5

Fuente: Elaboración propia en base a SIN Chile, 2022.

A continuación, se realiza la comparación de los resultados del último INGEI para la región de Antofagasta con los resultados de las emisiones de GEI que emitirá el Proyecto.

Tabla 27. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase operación Proyecto años 1 - 3

Contaminante	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6
Emisiones Proyecto fase operación (t/año)	203299,39	1,65	27,44	4,11	-	-	-
Emisiones Proyecto fase operación (Mton/año)	2,03,E-01	1,65,E-06	2,74,E-05	4,11,E-06	-	-	-
CO_2 equivalente Proyecto fase operación (Mton/año)	0,2033	4,36,E-04	7,68,E-04	-	-	-	-
TOTAL (Mton/año)	0,205						
Comparación con Inventario Región de Antofagasta 2022	1,05 %						

Fuente: Elaboración propia en base a SIN Chile, 2022.

Tabla 28. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase operación Proyecto años 1 - 5

Contaminante	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6
Emisiones Proyecto fase operación (t/año)	101872,76	0,825	13,748	2,9682	-	-	-
Emisiones Proyecto fase operación (Mton/año)	1,02,E-01	8,25,E-07	1,37,E-05	2,97,E-06	-	-	-
CO_2 equivalente Proyecto fase operación (Mton/año)	**0,1019**	**2,19,E-04**	**3,85,E-04**	-	-	-	-
TOTAL (Mton/año)	0,102						
Comparación con Inventario Región Antofagasta 2022	0,53%						

Fuente: Elaboración propia en base a SIN Chile, 2022.

Tabla 29. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase operación Proyecto años 6-28

Contaminante	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6
Emisiones Proyecto fase operación (t/año)	85035,90	0,69	11,48	2,42	-	-	-
Emisiones Proyecto fase operación (Mton/año)	8,50,E-02	6,89,E-07	1,15,E-05	2,42,E-06	-	-	-
CO_2 equivalente Proyecto fase operación (Mton/año)	0,0850	1,82,E-04	3,21,E-04	-	-	-	-
TOTAL (Mton/año)	0,0855						
Comparación con Inventario Región de Antofagasta 2022	0,44%						

Fuente: Elaboración propia en base a SIN Chile, 2022.

Tabla 30. Comparación con INGEI Antofagasta 2022 con fase cierre

Contaminante	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6
Emisiones Proyecto fase cierre (t/año)	1651,32	0,01	0,22	0,02	-	-	-
Emisiones Proyecto fase cierre (Mton/año)	1,65,E-03	1,34,E-08	2,23,E-07	2,37,E-08	-	-	-

Contaminante	CO_2	N_2O	CH_4	BC	HFCs	PF6	SF6
CO_2 equivalente Proyecto fase cierre (Mton/año)	0,0017	3,54,E-06	6,24,E-06	-	-	-	-
TOTAL (Mton/año)	0,00166						
Comparación con Inventario Región de Antofagasta 2022	0,01%						

Fuente: Elaboración propia en base a SIN Chile, 2022.

Considerando la comparación presentada en las tablas anteriores, se aprecia que las emisiones de GEI que generará el Proyecto durante las fases de operación y cierre resultan como máximo en un 1,05% de CO_2 equivalente de las emisiones de GEI para toda la región de Antofagasta.

3 Conclusiones Estimación de GEI

En base a los resultados obtenidos en la estimación de GEI, se concluye lo siguiente:

Las emisiones presentadas están asociadas al peor escenario posible, siendo en su mayoría emisiones asociadas a maquinaria fuera de ruta. Cabe destacar que para la mayoría de los parámetros claves de las respectivas fórmulas de estimación de emisiones, se han supuesto valores conservadores, con el objeto de determinar el escenario extremo en término de emisiones totales del Proyecto. De esta forma, las emisiones estimadas deberían corresponder a una cota superior para las emisiones reales que generará el Proyecto.

Respecto a las emisiones en cada fase, se aprecia que el mayor aporte de GEI se presentará durante la fase de operación del Proyecto, durante los años 1 al 3.

Las emisiones de GEI asociadas al Proyecto representan una contribución acotada respecto del total de emisiones de la Región de Antofagasta; alcanzando su mayor proporción durante los primeros tres años de operación, con un máximo de 1,05% para la operación del rajo. A partir de ese período, la contribución relativa disminuye progresivamente hasta estabilizarse en 0,44% de CO_2 equivalente en comparación a la región de Antofagasta valor que se mantiene durante 22 años consecutivos de operación y disminuye a 0,01% durante fase de cierre.

4 Bibliografía

- EMEP/EEA. (2019). *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, Ch. 1.A.4 Non Road Mobile Machinery.*
- EPA. (s.f.). *AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors*.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.*
- MMA. (2019). *Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales.*