

**MEMORIA DE CÁLCULO DEL INVENTARIO DE
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
EN LAS ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN**

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

JULIO DE 2012

MEMORIA DE CÁLCULO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LAS ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO

CONTENIDO

1.	<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>5</u>
2.	<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>9</u>
3.	<u>OBJETIVO</u>	<u>9</u>
4.	<u>ANTECEDENTES</u>	<u>9</u>
4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	9
4.2	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DEL PHAM	11
4.2.1	GENERACIÓN DE EXCEDENTES DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS	15
4.2.2	INSUMOS PARA LAS OBRAS.....	16
4.2.3	NÚMERO DE TRABAJADORES.....	17
5.	<u>METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....</u>	<u>19</u>
5.1	ESTÁNDAR CORPORATIVO DE CONTABILIDAD Y REPORTE (ECCR) DEL PROTOCOLO DE GEI.....	19
5.1.1	FRONTERAS DE EMISIÓN.....	19
5.1.2	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	22
6.	<u>CÁLCULO DE LAS EMISIONES GENERADAS POR EL PROYECTO.....</u>	<u>24</u>
6.1	AÑO BASE.....	24
6.2	FUENTES DE EMISIÓN	24
6.3	ESTIMACIÓN DE EMISIONES GEI	27
6.3.1	ALCANCE 1: EMISIONES DIRECTAS DE GEI. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	27
6.3.2	ALCANCE 3: EMISIONES INDIRECTAS DE GEI. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN	48
7.	<u>ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GEI DEL PROYECTO</u>	<u>59</u>
7.1	EMISIONES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	59
7.2	EMISIONES DURANTE LA OPERACIÓN.....	61
8.	<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>62</u>
9.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>64</u>

ANEXO: PLANILLA DE CÁLCULO DE EMISIONES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características generales de las centrales Alfalfal II y Las Lajas	10
Tabla 2 Principales obras y fuentes de generación de emisiones del PHAM.....	11
Tabla 3 Obras y actividades del PHAM.....	13
Tabla 4 Balance general de generación de excedentes y marinas.....	16
Tabla 5 Insumos requeridos para las obras	17
Tabla 6 Demanda de transporte de trabajadores y flujo de vehículos livianos del Proyecto	17
Tabla 7 Maquinaria empleada para movimiento de suelo y rocas	24
Tabla 8 Maquinaria empleada en perforación y tronaduras.....	25
Tabla 9 Vehículos para transporte de materiales y trabajadores	25
Tabla 10 Tipos de emisiones de GEI identificadas de acuerdo a los criterios del IPCC.....	26
Tabla 11 Factores de equivalencia entre toneladas de N ₂ O y CH ₄ con CO ₂	27
Tabla 12 Emisión de GEI según fuente identificada, para Alcance 1	28
Tabla 13 Asignación de maquinaria según tipo de obra	28
Tabla 14 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en escarpe	29
Tabla 15 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en excavaciones	29
Tabla 16 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en carga y descarga de excedentes.....	29
Tabla 17 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en carga y descarga de marinas	29
Tabla 18 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en perforación	30
Tabla 19 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en nivelación.....	30
Tabla 20 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en energización de obras civiles	30
Tabla 21 Horas totales de ocupación de la maquinaria	31
Tabla 22 Información operativa de máquinas y equipos.....	31
Tabla 23 Factores de emisión de CO ₂ , N ₂ O y CH ₄ para combustible diesel para las fuentes y maquinarias móviles todo terreno	32
Tabla 24 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de bulldozers para faenas de escarpe	32
Tabla 25 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de retroexcavadoras para faenas de excavación.....	32
Tabla 26 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de cargadores frontales para faenas de carga y descarga.....	33
Tabla 27 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de bulldozers para faenas de carga y descarga	33
Tabla 28 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de jumbos para faenas de perforación.....	33
Tabla 29 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de perforadoras sobre orugas para faenas de perforación.....	34
Tabla 30 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de perforadoras manuales para faenas de perforación.....	34
Tabla 31 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de máquina tunelera para faenas de perforación	34
Tabla 32 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de motoniveladoras para faenas de nivelación.....	35
Tabla 33 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de rodillos compactadores para faenas de nivelación.....	35
Tabla 34 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de compresores diesel para energización de obras	35
Tabla 35 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de bombas de inyección para energización de obras.....	36
Tabla 36 Estimación de emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de maquinarias y equipos diesel durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año	36

Tabla 37 Factores de emisión por defecto de CO ₂ , N ₂ O y CH ₄ para combustible diesel en el transporte terrestre.....	36
Tabla 38 Caminos proyectados de conexión entre las obras y las rutas existentes	37
Tabla 39 Kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos no pavimentados	37
Tabla 40 Kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos pavimentados	38
Tabla 41 Resumen de kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos no pavimentados, por año, en un solo sentido	38
Tabla 42 Resumen de kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos pavimentados, por año, en un solo sentido	39
Tabla 43 Estimación de emisiones de GEI asociadas al transporte de marinas y excedentes durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año	39
Tabla 44 Factor de consumo de combustible (CC) de acuerdo al tipo de camión involucrado en el transporte de insumos	40
Tabla 45 Rutas externas empleadas para el transporte de insumos para las obras.....	40
Tabla 46 Rutas de transporte de insumos según sector y tipo de carga	41
Tabla 47 Distancia recorrida por vehículo de transporte por sector según el tipo de carga, en una sola dirección	41
Tabla 48 Insumos a transportar a las obras en toneladas.....	42
Tabla 49 Capacidad de carga máxima por tipo de camión.....	42
Tabla 50 Flujo de camiones betoneras para transporte de cemento, por sector y año	42
Tabla 51 Flujo de camiones tolva para transporte de áridos, por sector y año	42
Tabla 52 Flujo de camiones medianos para transporte de materiales misceláneos, por sector y año	43
Tabla 53 Distancia total recorrida por camiones betoneras	43
Tabla 54 Distancia total recorrida por camiones tolva	43
Tabla 55 Distancia total recorrida por camiones medianos.....	44
Tabla 56 Estimación de emisiones de GEI por combustiones asociadas al transporte de insumos durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año.....	44
Tabla 57 Rutas de acercamiento de trabajadores a las obras	44
Tabla 58 Distancia recorrida por vehículo de transporte de trabajadores por sector, en una sola dirección	45
Tabla 59 Flujo mensual de buses por transporte de trabajadores por sector según año del Proyecto	45
Tabla 60 Meses de actividad de buses por transporte de trabajadores por sector según año del Proyecto	46
Tabla 61 Número de buses que transportan trabajadores por sector según año del Proyecto	46
Tabla 62 Número de camionetas que transportan trabajadores por sector según año del Proyecto	46
Tabla 63 Distancia total recorrida por todos los vehículos de transporte de pasajeros de un mismo tipo.....	47
Tabla 64 Distancia total recorrida por los vehículos de transporte de pasajeros [km], en ambos sentidos	47
Tabla 65 Factor de consumo de combustible (CC) de acuerdo al tipo de vehículo involucrado en el transporte de trabajadores	47
Tabla 66 Emisiones de GEI por combustiones asociadas a transporte de trabajadores durante la etapa de construcción del PHAM, en toneladas de CO ₂ -equivalentes por año.....	48
Tabla 67 Ubicación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.....	49
Tabla 68 Emisión de GEI según tipo de emisión proveniente del tratamiento de aguas servidas (Alcance 3)	49
Tabla 69 Factores de emisión de N ₂ O y CH ₄ para plantas de tratamiento de aguas servidas aeróbicas	50
Tabla 70 Valores de algunos de los parámetros empleados en la estimación de emisiones de GEI asociada al tratamiento de aguas servidas	50

Tabla 71 Emisiones de CH ₄ por tratamiento de aguas servidas durante la etapa de construcción del PHAM, en toneladas por año	51
Tabla 72 Emisiones de N ₂ O por tratamiento de aguas servidas durante la etapa de construcción del PHAM, en toneladas por año.....	51
Tabla 73 Metodología utilizada para estimar emisiones de GEI asociadas a la deforestación de la vegetación intervenida durante la construcción del PHAM	53
Tabla 74 Factores de emisión utilizados en el cálculo	54
Tabla 75 Emisiones de GEI por quema de leña proveniente de vegetación intervenida durante la etapa de construcción, en toneladas por año.	54
Tabla 76 Emisiones de CO ₂ por descomposición de la vegetación chipeada y dispuesta en el suelo, durante las etapas de construcción y operación, en toneladas por año.	55
Tabla 77 Total de emisiones de GEI por deforestación, durante las etapas de construcción y operación, en toneladas por año.....	55
Tabla 78 Metodología utilizada para estimar las capturas de CO ₂ asociadas a medidas de compensación, durante las etapas de construcción y operación del PHAM.....	56
Tabla 79 Capturas de CO ₂ por incremento de biomasa asociado a medidas de compensación y restauración, en toneladas por año.....	57
Tabla 80 Emisiones de GEI por senescencia de individuos compensados, en toneladas por año	57
Tabla 81 Balance de emisiones y capturas de GEI por medidas de compensación y restauración.	57
Tabla 82 Balance final de capturas y emisiones de GEI por intervención de la vegetación, en toneladas por año	58
Tabla 83 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 1 durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año	59
Tabla 84 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 3 durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año	60
Tabla 85 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 3 durante la etapa de Operación del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año	61
Tabla 86 Estimación de emisiones de GEI durante la construcción y operación del PHAM en toneladas de CO ₂ -equivalente por año	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Emplazamiento general del PHAM.....	10
Figura 2 Esquema general de las obras del PHAM	11
Figura 3 Distribución geográfica de principales obras y fuentes de generación de emisiones del PHAM	12
Figura 4 Curva ocupacional del Proyecto.....	18
Figura 5 Resumen y alcances a través de la cadena de valor de una empresa	21
Figura 6 Metodología del Inventario de emisiones de GEI según el GHG Protocol.....	22

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Distribución de emisiones de GEI de Alcance 1. Fase de construcción PHAM	59
Gráfico 2 Distribución de emisiones de GEI de Alcance 3. Fase de construcción PHAM	60
Gráfico 3 Distribución de emisiones de GEI de Alcance 3. Intervención de la vegetación. Fase de operación PHAM	61

1. RESUMEN EJECUTIVO

El Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM) comprende la construcción y operación de dos centrales hidroeléctricas de pasada: Alfalfal II y Las Lajas, dispuestas en serie en el sector alto del río Maipo, para lo cual considera el aprovechamiento de las aguas provenientes de la zona alta del río Volcán, del río Yeso, de las aguas turbinadas provenientes de la actual Central Alfalfal y de la cuenca intermedia del río Colorado. Ambas centrales permitirán disponer en conjunto una potencia máxima de 531 MW, para ser despachada al Sistema Interconectado Central (SIC).

La operación del PHAM constituirá una fuente significativa de energía renovable limpia para la red nacional chilena –en la región con mayor demanda- y desplazará energías generadas mediante la combustión de combustibles fósiles.

En el presente informe se inventariaron los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de las etapas de construcción y operación del PHAM, con la finalidad de estimar las emisiones de estos gases de acuerdo a una metodología reconocida internacionalmente y a buenas prácticas (“Estándar corporativo de Contabilidad y Reporte”¹ de la Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero, GHG PI), para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las Políticas de Protección del Banco Interamericano de Desarrollo y los Estándares de Desempeño de la Corporación Financiera Internacional.

Bajo el enfoque de un inventario de control operacional, se separó el Proyecto en dos etapas: construcción (años 2011 a 2016) y operación (años 2017 a 2021²). Luego, en cada una de ellas, se identificaron las fuentes de emisión de GEI más relevantes, y posteriormente éstas fueron clasificadas de acuerdo a sus alcances³. La siguiente tabla resume esta clasificación:

Tabla Resumen 1 Identificación de fuentes de emisión de GEI del PHAM (criterio IPCC)

Alcance	Fuente de emisión			Gases evaluar (IPCC)	Fase Construcción 2011-2016	Fase Operación 2017-2021
1 Emisiones directas	Quema de combustible (diesel líquido)	Combustión Fija	Maquinaria y equipos	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente
		Combustión Móvil	Transporte de marinas	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente
			Transporte de insumos	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente
			Transporte de trabajadores	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente
3 Emisiones indirectas	Intervención de la vegetación	Emisiones por deforestación	Quema por consumo de leña	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente
			Descomposición de materia orgánica dispuesta en el suelo	CO ₂	Presente	Presente

¹ GHG Protocol Corporate Standard.

² Se tomo como referencia el año 2021, considerando que en dicho año concluirán las compensaciones de vegetación.

³ No se incluye el Alcance 2, debido a que no existen emisiones asociadas al consumo eléctrico, pues se empleará una línea de potencia desde la planta hidroeléctrica Los Maitenes, reemplazando el uso potencial de energías alternativas basadas en combustibles fósiles.

Alcance	Fuente de emisión				Gases evaluar (IPCC)	Fase Construcción 2011-2016	Fase Operación 2017-2021
		Captura y emisión por medidas de compensación	Captura por incremento de biomasa	PRV	CO ₂	Presente	Presente
			Compensación y reforestación				
			Descomposición de materia orgánica por senescencia		CO ₂	Presente	Presente
	Plantas de tratamiento de aguas servidas				N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente

Fuente: Elaboración propia.

Para los cálculos se adoptaron supuestos conservadores, tendiendo a sobreestimar la generación de GEI, considerando el peor escenario cuando no existía información oficial⁴ más detallada (empleando el máximo de los factores de emisión asociados a cierto tipo de fuente, o el máximo del tiempo de utilización de una maquinaria, por ejemplo).

Se reportaron los resultados por año, para cada etapa del Proyecto, en toneladas de CO₂-equivalentes.

La estimación de las emisiones para cada fase del proyecto se presenta en las tablas a continuación:

Tabla Resumen 2 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 1 durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Fuente de emisión			2011	2012	2013	2014	2015	2016
Quema de combustible (diesel líquido)	Combustión Fija	Maquinaria y equipos	19,1	649,2	3.357,8	2.645,1	2.707,5	362,4
	Combustión Móvil	Transporte de marinas	5,1	94,7	462,3	269,7	190,9	6,1
		Transporte de insumos	18,5	144,1	190,9	189,4	187,8	26,1
		Transporte de trabajadores	85,5	1.219,2	1.722,5	1.459,7	370,7	2,5
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]			128,3	2.110,4	5.747,8	4.575,2	3.467,9	398,5

Fuente: Elaboración propia.

⁴ Se consideraron las Directrices del IPCC (1996 y 2006) e inventarios nacionales.

Tabla Resumen 3 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 3 durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Fuente de emisión				2011	2012	2013	2014	2015	2016
Intervención de la vegetación	Emisiones por deforestación	Quema por consumo de leña		-	116,4	318,1	3.258,1	-	2.100,7
		Descomposición de materia orgánica dispuesta en el suelo		13,2	145,0	765,9	614,0	830,6	665,0
	Captura y emisión por medidas de compensación y restauración	Captura por incremento de biomasa	PRV	-	-	-2,3	-103,8	-304,9	-505,9
			Compensación y reforestación	-	-	-0,5	-0,8	-1,3	-1,3
		Descomposición de materia orgánica por senescencia		-	-	0,03	0,13	0,19	0,23
Plantas de tratamiento de aguas servidas				-	49,7	99,4	99,4	99,4	99,4
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]				13,2	311,0	1.180,6	3.867,0	624,0	2.358,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Resumen 4 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 3 durante la etapa de operación del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Fuente de emisión				2017	2018	2019	2020	2021
Intervención de la vegetación	Emisiones por deforestación	Quema por consumo de leña		-	-	-	-	-
		Descomposición de materia orgánica dispuesta en el suelo		532,0	425,6	340,5	272,4	217,9
	Captura y emisión por medidas de compensación y restauración	Captura por incremento de biomasa	PRV	-637,4	-637,4	-637,4	-637,4	-637,4
			Compensación y reforestación	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
		Descomposición de materia orgánica por senescencia		0,18	0,15	0,12	0,09	0,07
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]				-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7

Fuente: Elaboración propia.

El análisis global de las emisiones del Proyecto según fuentes de emisión principales, se resume a continuación:

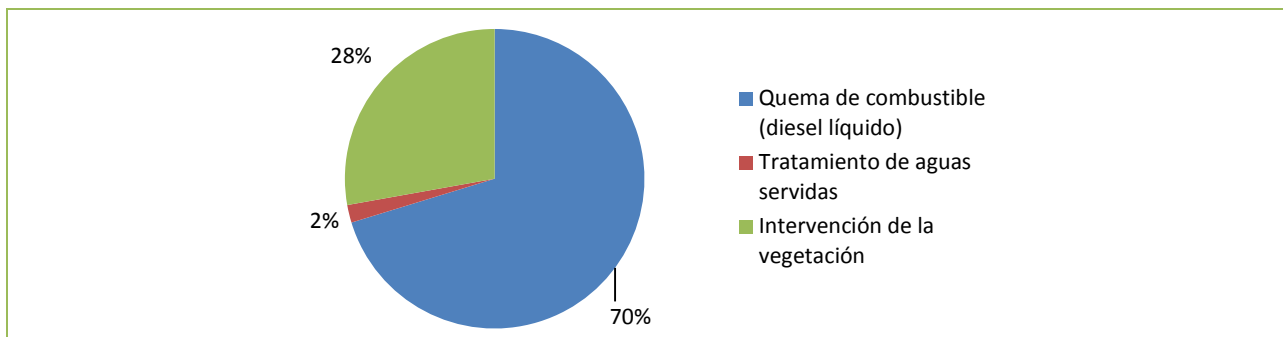
Tabla Resumen 5 Estimación de emisiones de GEI durante la construcción y operación del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Alcance	Fuente de emisión	Fase de Construcción						Fase de Operación					Total emisiones GEI proyecto
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
1	Quema de combustible (diesel líquido)	128,3	2.110,4	5.747,8	4.575,2	3.467,9	398,5	-	-	-	-	-	16.428,2
3	Tratamiento de aguas servidas	-	49,7	99,4	99,4	99,4	99,4	-	-	-	-	-	447,4
	Intervención de la vegetación	13,2	261,3	1.081,2	3.767,6	524,6	2.258,7	-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7	6.502,1
TOTAL EMISIONES [tCO₂e/año]		141,5	2.421,5	6.928,4	8.442,2	4.092,0	2.756,6	-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7	23.377,7

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de las emisiones totales de las fuentes principales se resume en la figura a continuación.

Gráfico Resumen 1 Distribución de las emisiones totales de GEI del PHAM, según fuentes principales de emisión



Fuente: Elaboración propia.

El análisis global de las emisiones de GEI concluyó que las mayores emisiones están asociadas a la combustión de diesel (70% del total de emisiones del Proyecto), en particular a la combustión fija producto del uso de maquinarias. En segundo lugar se encuentran las emisiones producto de la intervención de la vegetación, las que alcanzan un 28% del total de emisiones del Proyecto.

Durante los años 2013 a 2014, la intervención de la vegetación constituye una parte importante de emisiones. Sin embargo, debido a las compensaciones de vegetación (principalmente al Plan de Restauración de la Vegetación, PRV), durante el periodo de operación se producen capturas anuales de cientos de toneladas de CO₂, las que permiten disminuir las emisiones totales del Proyecto.

La estimación de emisiones de GEI permitió establecer que éstas no excederán las 8.442,2 toneladas de CO₂e/año, por lo que no se sobrepasa el límite de emisiones establecido por los Estándares de Desempeño de la Corporación Financiera Internacional (25.000 toneladas de CO₂e/año). Más aún, el análisis global del Proyecto en el periodo comprendido entre 2011 y 2021 concluye que las emisiones totales del Proyecto ascienden a 23.377 tCO₂e.

2. INTRODUCCIÓN

La operación del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM) constituirá una fuente significativa de energía renovable limpia para la red nacional chilena –en la región con mayor demanda-, y a la vez permitirá el reemplazo del uso de energías generadas mediante la combustión de combustibles fósiles.

El presente informe corresponde a la “Memoria de cálculo del inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de las etapas de construcción y operación del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo”. Este inventario se obtiene a partir de la compilación y análisis de información de donde se establecen las actividades que utilizarán combustibles fósiles o que generarán GEI durante la etapa de construcción y operación del Proyecto. En este sentido, se incluye una definición acabada de las obras a efectuar por el Proyecto, precisando el tipo de actividad y potencial generador de emisiones, su ubicación geográfica y nivel de actividad en el tiempo.

Adicionalmente, se incluye una base de datos EXCEL que sintetiza toda la información relevante para el cálculo de emisiones para cada obra del Proyecto, acompañada de las hojas de cálculo de emisiones asociadas a cada tipo de emisión.

3. OBJETIVO

La presente Memoria tiene como finalidad inventariar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), de acuerdo a una metodología reconocida internacionalmente y a buenas prácticas, para determinar si cumple con los requerimientos de las Políticas de Protección del Banco Interamericano de Desarrollo y los Estándares de Desempeño de la Corporación Financiera Internacional.

4. ANTECEDENTES

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM) comprende la construcción y operación de dos centrales hidroeléctricas de pasada: Alfalfal II y Las Lajas, dispuestas en serie en el sector alto del río Maipo, para lo cual considera el aprovechamiento de las aguas provenientes de la zona alta del río Volcán, del río Yeso, de las aguas turbinadas provenientes de la actual Central Alfalfal y de la cuenca intermedia del río Colorado. Ambas centrales permitirán disponer en conjunto una potencia máxima de 531 MW, para ser despachada al Sistema Interconectado Central (SIC).

En síntesis el PHAM incluye la toma, conducción y aprovechamiento de las aguas por medio de un sistema de bocatomas, túneles y turbinas, empleando bajos caudales y alturas de caída elevadas.

La Central Alfalfal II, diseñada para un caudal de 27 m³/s, recibirá las aguas captadas desde esteros ubicados en la parte alta del río Volcán, las que se conducirán hasta el valle del río Yeso a través del túnel El Volcán. Por su parte, la Central Las Lajas se encuentra diseñada para un caudal de 65 m³/s; ésta recibirá las aguas generadas de las centrales Alfalfal y Alfalfal II, además de los aportes de la

cuenca intermedia del río Colorado, ubicada entre las bocatomas de la Central Alfalfal (Colorado y Olivares) y la actual bocatoma de la Central Maitenes, y de la quebrada Aucayes.

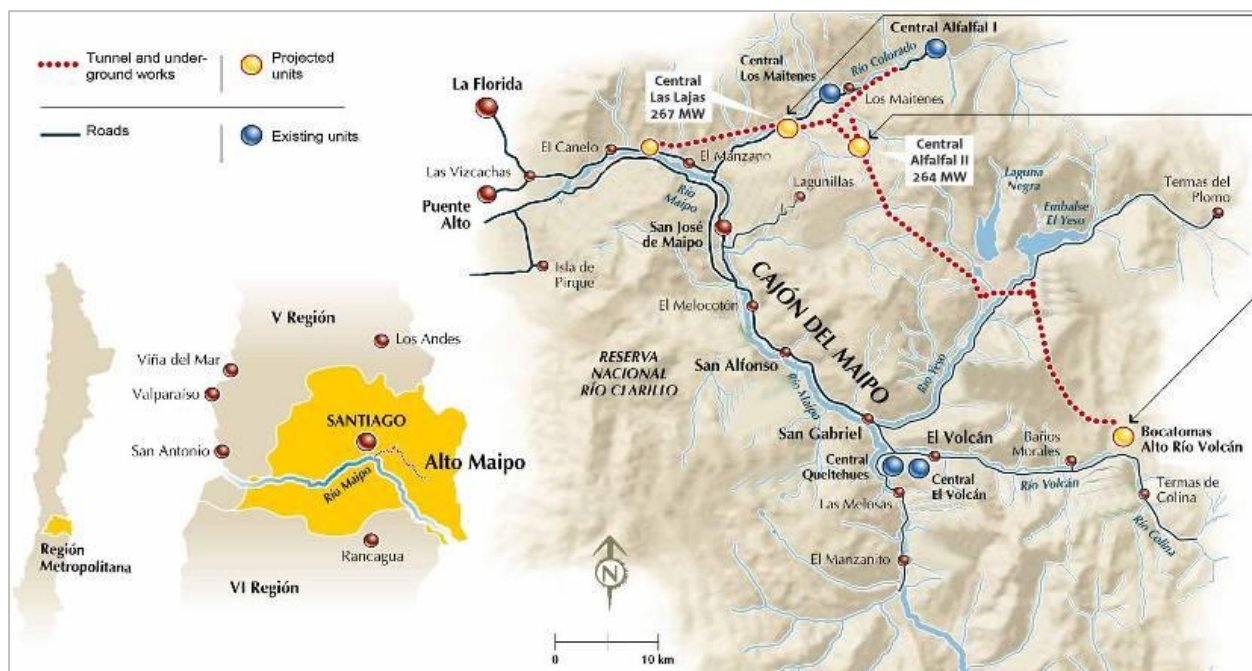
Las características generales de estas centrales se muestran a continuación:

Tabla 1 Características generales de las centrales Alfalfal II y Las Lajas

Características	Central Alfalfal II	Central Las Lajas
Potencia instalada (MW)	264	267
Caudal de diseño (m³/s)	27	65
Caudal promedio anual turbinado (m³/s)	12,5	35,2
Altura bruta de caída (m)	1.146	485
Longitud de túneles (km)	40	30
Energía promedio anual generada (GWh/año)	1.086	1.264
Sistema de Transmisión 220 – 110 kV	8 km	23 km

Fuente: AES Gener.

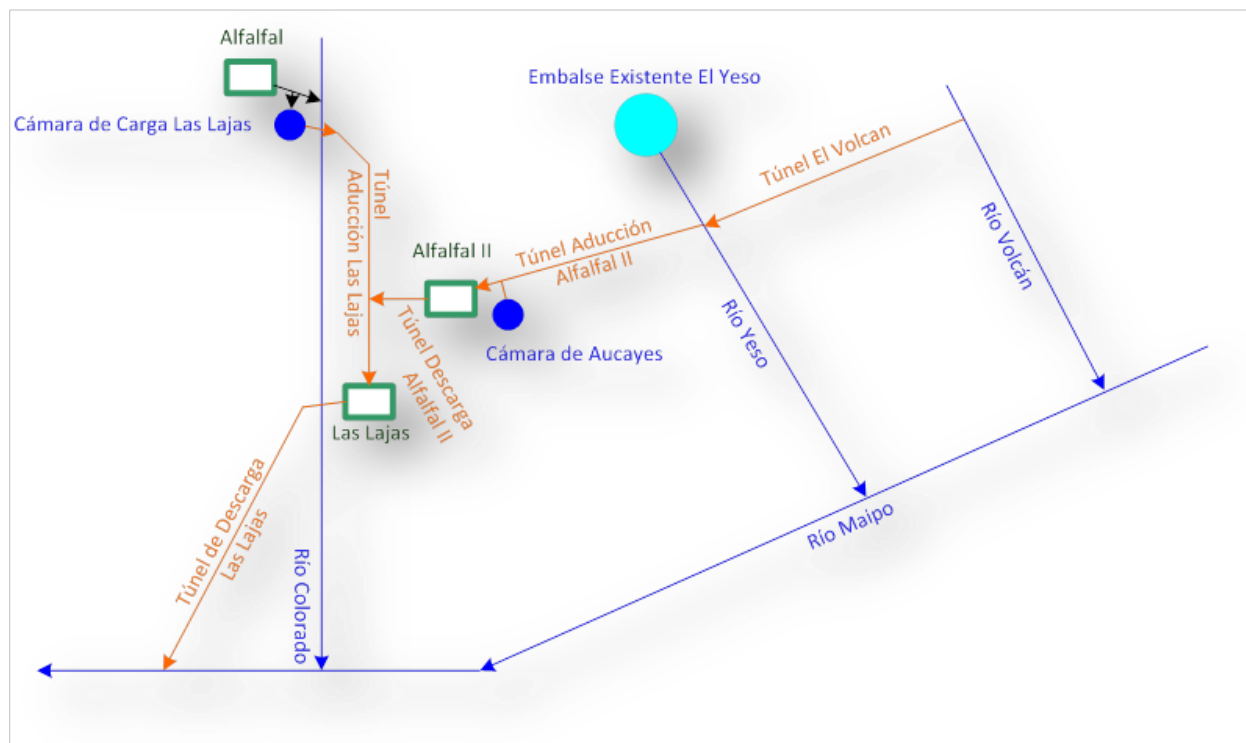
Figura 1 Emplazamiento general del PHAM



Fuente: AES Gener.

De manera esquemática, el PHAM contempla las siguientes obras generales:

Figura 2 Esquema general de las obras del PHAM



Fuente: AES Gener.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS DEL PHAM

Desde el punto de vista de la generación de emisiones, las principales fuentes se producirán durante la construcción del Proyecto debido al movimiento de tierras y el transporte de materiales y de trabajadores. En resumen, las obras y principales fuentes de generación de emisiones serán las siguientes:

Tabla 2 Principales obras y fuentes de generación de emisiones del PHAM

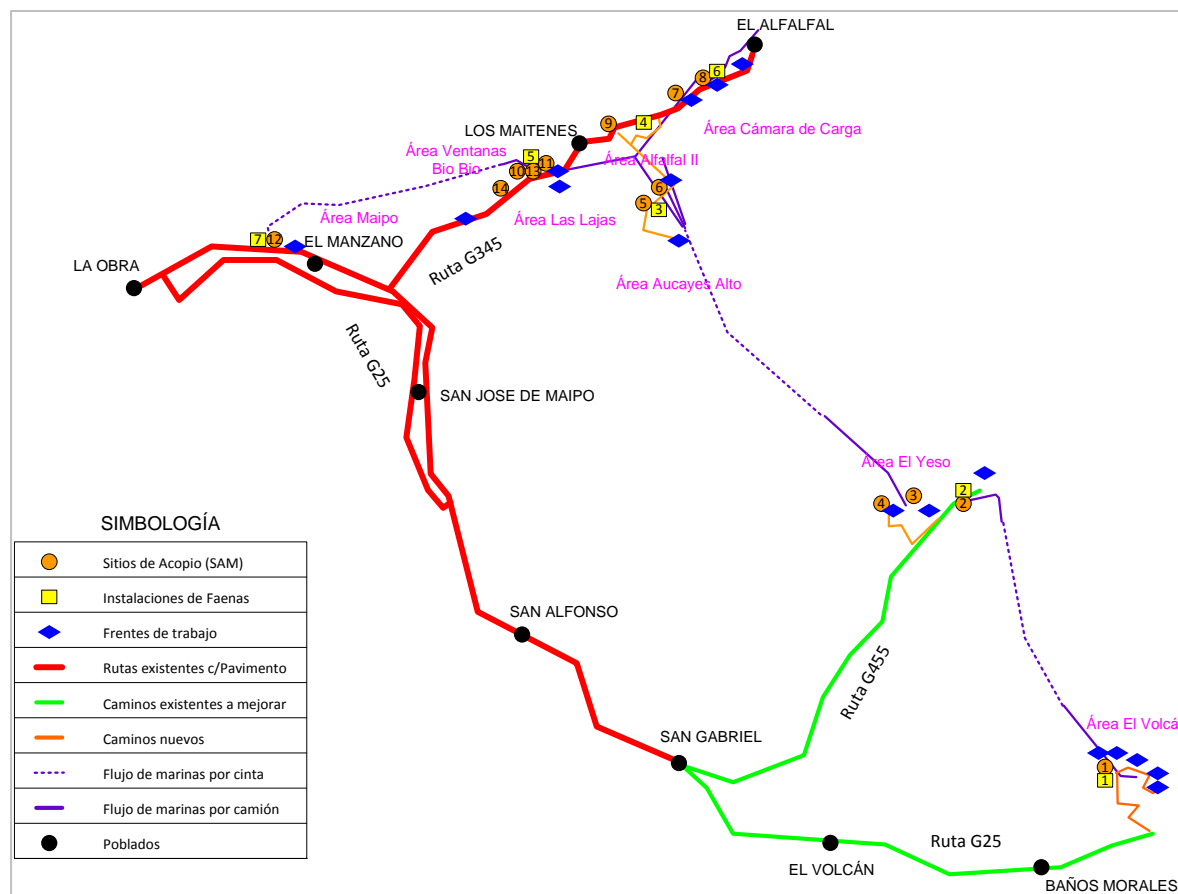
Obra/Instalación	Cantidad	Clasificación	Tipo de Fuente o actividad emisora	
			Habilitación	Operación
Instalación de faenas y campamentos	7	Instalaciones de faenas (AAFF)	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpe superficial • Carga y descarga de material 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de materiales y pasajeros
Nuevos Caminos	4	Caminos	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de materiales y pasajeros
Nuevos Puentes	4		<ul style="list-style-type: none"> • Relleno 	
Sifones	3		<ul style="list-style-type: none"> • Nivelación y Compactación • Carga y descarga de material 	
Ductos de conexión captación-túnel	5	Ductos	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación 	-
Canales	1		<ul style="list-style-type: none"> • Relleno • Carga y descarga de material 	-

Obra/Instalación	Cantidad	Clasificación	Tipo de Fuente o actividad emisora	
			Habilitación	Operación
Cámaras de carga	2			-
Sitios de acopio de marinas (SAM)	14	Sitios de acopio de marinas (SAM)	<ul style="list-style-type: none"> Escarpe superficial Nivelación Carga y descarga de material 	<ul style="list-style-type: none"> Descarga de material Relleno y Compactación
Túneles	8	Túneles	<ul style="list-style-type: none"> Perforaciones en roca Tronaduras en roca Carga y descarga de material 	-
Chimeneas de Equilibrio	2			-
Cavernas de Máquinas	2			-
Bocatomas	5	Obras Civiles (OOC)	<ul style="list-style-type: none"> Escarpe superficial Carga y descarga de material 	-
Obra de descarga	3			-
Subestación de 0,5 ha	1			-

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por AES Gener.

Geográficamente, estas obras se distribuirán como se indica en la Figura 3.

Figura 3 Distribución geográfica de principales obras y fuentes de generación de emisiones del PHAM



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por AES Gener.

En el Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones de esta memoria, se incluye una base de datos con las especificaciones de cada obra a construir, indicándose: el sector de ubicación, el tipo y la obra a construir, el tiempo de construcción empleado, las dimensiones físicas de la obra, los volúmenes generados de movimiento de tierras y marinas (roca fracturada), el tiempo involucrado en este tipo de faenas, sí como los niveles de actividad de las otras faenas de construcción para cada obra.

Por su parte, las obras consideradas y su distribución en el tiempo se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Obras y actividades del PHAM

Obra	Duración (meses)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán		12	12	12	12	6
Obras Previas		8				
Camino a Obras Sector Túnel Volcán		5				
Habilitación SAM Nº1		1				
Instalación AAFF 1		1				
Túneles, cavernas y chimeneas		3	12	12	12	6
Operación SAM Nº1		2	12	12	12	6
Túnel (V1 aguas abajo)		1	12	12	12	6
Obras Civiles			3	7	7	4
Acueducto El Volcán (Incluye Tramo La Engorda -Colina Y Sifón Morado)			3	7	7	4
Bocatoma (El Morado, Colina, La Engorda y Las Placas)			3	7	7	4
Desarenador El Volcán			3	7	7	4
Operación Planta de Hormigón			3	7	7	4
Área Yeso		9	12	12	12	4
Obras Previas		7				
Camino Acceso a VA4 (Entrada Túnel Alfalfal II)		3				
Habilitación SAM Nº2		1				
Habilitación SAM Nº3			1			
Habilitación SAM Nº4		1				
Instalación AAFF 2		3	1			
Túneles, cavernas y chimeneas		2	12	12	12	5
Operación SAM Nº2			7	12	12	3
Operación SAM Nº3			3	7	7	2
Operación SAM Nº4		2	12	12	12	4
Sifón río Yeso			3	7	7	2
Túnel Alfalfal D&B (VA4 a A10')		2	12	12	12	4
Túnel Volcán Minería (Desde V6 aguas arriba)					10	3
Túnel Volcán TBM			7	12	2	
Obras Civiles		5	3	7	7	2
Bocatoma El Yeso			3	7	7	
Conducción Captación Río Yeso A Conducción El Volcán			3	7	7	
Obras de descarga al Río Yeso			3	7	7	
Operación Planta de Hormigón			3	7	7	2
Puente Manzanito		3				
Puente Río Yeso		5				

Obra	Duración (meses)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área Aucayes Alto						
Obras Previas		1	5			
Camino Acceso a VA2 (Aucayes Alto)			4			
Habilitación SAM N°5			1			
Habilitación SAM N°6		1				
Túneles, cavernas y chimeneas			7	12	10	
Operación SAM N°5			7	12	10	
Operación SAM N°6			4			
Túnel Alfalfal II Aducción TBM (VA2 a A10')			7	12	10	
Obras Civiles		3	7	12	10	
Operación Planta de Hormigón			7	12	10	
Puente Aucayes		3				
Área Alfalfal II						
Obras Previas		6	7			
Camino a Cámara de Carga Alfalfal II			7			
Camino Acceso a Deposito de Marina desde VA1		3				
Camino Acceso Central Alfalfal II (VA1)		5				
Habilitación SAM N°9		1				
Túneles, cavernas y chimeneas		5	12	12	12	
Cámara de Carga				3	2	
Caverna y Otros Alfalfal II				6	3	
Excavación Pique - Chimenea TBM				5	10	
Obras Civiles Caverna Alfalfal II			9	11		
Operación SAM N°9		5				
Túnel Acceso Alfalfal II (VA1)		2	12	6		
Túnel Descarga Alfalfal II (Hasta L10')				7	3	
Área Las Lajas-Maipo						
Obras Previas	2	1	5			
Camino Acceso a Central Las Lajas	2	1				
Camino Acceso a VL5			1			
Habilitación SAM N°10			1			
Habilitación SAM N°11	1					
Habilitación SAM N°12			1			
Habilitación SAM N°13			1			
Habilitación SAM N°14	1		1			
Habilitación SAM N°7			1			
Habilitación SAM N°8		1				
Instalación AAFF 7			1			
Túneles, cavernas y chimeneas		11	12	12	12	
Aducción Las Lajas A Arriba (L9 a L10 - 601m.)			5	12	10	
Caverna y Otros Las Lajas					10	
Excavación Pique - Chimenea			1	8		
L10 a Alfalfal II			9	10		

Obra	Duración (meses)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Las Lajas hacia arriba (L1 hacia L4)			6	12	12	
Las Puertas hacia abajo (L4 hacia L1)			6	12	12	
Las Puertas hacia arriba (L4 a L7)			7	12	6	
Operación SAM N°10			12	12	9	
Operación SAM N°11		8	7			
Operación SAM N°12			6	12	12	
Operación SAM N°13			11	7		
Operación SAM N°14		1	12	2		
Operación SAM N°7			4			
Operación SAM N°8		11	12	7		
Túnel Acceso Las Lajas (VL4)		2	12	2		
Túnel Descarga Las Lajas (L7 a L4)			7	12	6	
Ventana El 300 (VL7 - L12)		1	1			
Ventana El 300, Frente Principal (L12 a L10 + 601m.)			11	12	1	
Ventana El 300, Frentes Auxiliares (L12 a VL8)			10	1		
Ventana Las Puertas (VL2 a L4)			8	5		
Ventana y Túnel VL5 a L9		2	8			
Obras Civiles		12	12	12	12	6
Montaje Torres y Líneas		12	12			
Obra de Descarga y Defensas Fluviales en río Maipo					6	
Obras Civiles Cámara Carga Las Lajas			9	10		
Obras Civiles Caverna Las Lajas					11	
Obras Civiles sector Río Colorado			6	12	12	
Obras Civiles SSEE			8	4		
Planta Hormigón Portal acceso a Central Las Lajas VL4			12	12	12	6
Planta Hormigón Portal Túnel Las Lajas L1 (Descarga río Maipo)			6	12	12	
Planta Hormigón Portal Túnel Las Lajas VL7			12	12	12	
Planta Hormigón Portal Túnel Las Lajas VL8			12	12	12	
Planta Hormigón Portal Ventana Las Puertas VL2			12	12	12	
Planta Hormigón Portal Ventana Túnel Las Lajas VL5			12	12	12	
Puente Río Colorado			3			

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener

4.2.1 Generación de excedentes del movimiento de tierras

El nivel de actividad del movimiento de tierras está determinado por los volúmenes de suelo y roca necesarios de extraer para las obras, la utilización de parte de éstos para rellenos y la disposición de los excedentes que se generen como resultado de estos trabajos.

Las principales obras que influyen en el volumen del movimiento de tierras son la construcción de caminos y ductos, y la construcción de túneles y cavernas, en el caso de las marinas. En menor

medida se producirán movimientos de tierra asociados al despeje superficial (escarpe) para la habilitación de áreas de faenas, sitios de acopio de marinas (SAM) y construcción de obras civiles.

Se estimó un rendimiento de extracción promedio de 100 m³ de material por hora⁵ para las retroexcavadoras. Además, se consideraron las dimensiones superficiales proyectadas para cada una de las nivelaciones de caminos, suponiendo un ancho efectivo de colocación del material de 2,5 m de ancho por cada pasada de la máquina y un total de 4 pasadas sobre toda la superficie. Por otro lado, en el caso de los sitios de acopio de marinas, se calculó el número de capas a disponer a partir de la superficie y volumen total a depositar en cada SAM, considerando un espesor de 50 cm por cada capa. Los VKT se calcularon suponiendo igual rendimiento superficial de la máquina (2,5 m por pasada) y un total de 8 pasadas por capa.

El balance de movimientos de tierra y marinas del Proyecto se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4 Balance general de generación de excedentes y marinas

Movimiento	Área Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Área Las Lajas -Maipo	Total
Escarpe	4.418	14.763	13.611	13.468	34.732	80.992
Excavaciones	133.998	99.997	164.997	405.687	25.186	829.865
Rellenos	-32.000	-40.000	-5.000	-32.000	-4.000	-113.000
Carpetas granulares	-10.811	-7.900	-7.100	-29.314	-1.290	-56.415
Marinas	107.765	293.690	287.619	461.755	946.700	2.097.529
Excedentes a disponer	203.370	360.550	454.127	819.596	1.001.328	2.838.971

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener y [3] ARCADIS, 2008b.

4.2.2 Insumos para las obras

La demanda de insumos para las obras tiene su principal influencia en las emisiones derivadas de su transporte desde los lugares de abastecimiento hasta las áreas de faenas y frentes de trabajo. Los insumos corresponden principalmente a combustible para la maquinaria y vehículos, y materiales para la construcción de las obras civiles.

Las cantidades de insumos requeridos se muestran en la siguiente tabla.

⁵ Dato proporcionado por el Titular. Dependiendo del tamaño y modelo de la retroexcavadora, las tasas de productividad varían entre 50 m³/h y 1.000 m³/h. En este sentido, el valor adoptado es conservador.

Tabla 5 Insumos requeridos para las obras

Insumo	Área Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Área Las Lajas -Maipo	Total
Combustibles	400	400	200	1.200	800	3.000
Acero y pernos de anclaje	1.000	1.000	300	1.600	900	4.800
Cemento	12.000	10.000	12.000	24.000	28.000	86.000
Áridos Complementarios	0	0	5.000	20.000	80.000	105.000
Madera	300	700	50	900	250	2.200
Tubos de Acero	200	1.600	0	3.000	1.200	6.000
Tubos de Hormigón	5.000	0	0	0	0	5.000
Otras Cargas Varias	1.750	1.200	1.300	3.000	2.750	10.000

Fuente: [1] AMBITRANS, 2008.

4.2.3 *Número de trabajadores*

El número de trabajadores que se emplearán durante la construcción del Proyecto demandará la provisión de facilidades de transporte desde los puntos de acercamiento a los campamentos en el sitio de Proyecto, produciendo emisiones de los buses y vehículos de trabajo en obra.

La demanda de transporte de trabajadores y flujo de vehículos livianos en la obra se presentan a continuación:

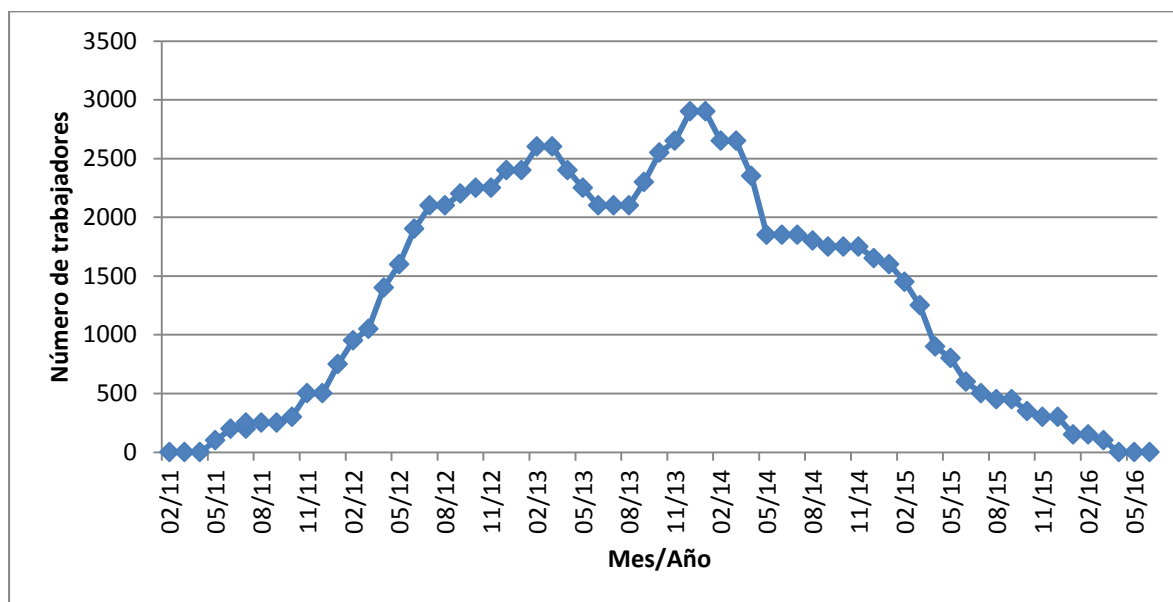
Tabla 6 Demanda de transporte de trabajadores y flujo de vehículos livianos del Proyecto

Demanda de transporte	Área Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Área Las Lajas -Maipo
Pasajeros (pasajero/mes)	267	587	160	960	880
Flujo de buses (bus/mes)	7	15	4	24	22
Flujo de vehículos livianos (veh/mes)	60	60	60	60	120

Fuente: Elaboración propia en base a [1] AMBITRANS, 2008.

Por su parte, el número de trabajadores para todo el período de construcción se indica en la figura siguiente.

Figura 4 Curva ocupacional del Proyecto.



Fuente: Figura 4. Adenda 1 [3] ARCADIS, 2008b.

5. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

Para determinar el nivel de emisiones de GEI, se elaboró un inventario que determina las emisiones del PHAM.

La metodología de estimación utilizada en el estudio ha sido extraída del documento “Estándar corporativo de Contabilidad y Reporte”⁶ de la Iniciativa del protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI por sus siglas en inglés) publicado por la World Resources Institute (WRI) y del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

La Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI) es una alianza multipartita de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), coalición integrada por 170 empresas internacionales, con sede en Ginebra, Suiza. La Iniciativa fue lanzada en 1998 con la misión de desarrollar estándares de contabilidad y reporte para empresas aceptados internacionalmente y promover su amplia adopción.

A continuación se describe brevemente la metodología aplicada.

5.1 ESTÁNDAR CORPORATIVO DE CONTABILIDAD Y REPORTE (ECCR) DEL PROTOCOLO DE GEI

El Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (ECCR) contiene los métodos de contabilidad mundialmente reconocidos y las fronteras que se pueden aplicar a diferentes niveles, tipos y tamaños de organizaciones al elaborar sus inventarios de GEI. Esto incluye tanto a las organizaciones multinacionales, industrias primarias intensivas en el uso de energía, como a las pequeñas y medianas empresas. El protocolo define las fronteras y los alcances de las emisiones con el fin de garantizar, en el momento en que las empresas deciden comenzar la contabilidad de sus emisiones a nivel nacional, estatal o industrial, que éstas no sean contadas dos veces. A nivel organizacional, las fronteras y los límites de emisión son importantes cuando se elabora un inventario de GEI, ya que dan a las organizaciones coherencia y claridad al trazar su responsabilidad de emisiones.

5.1.1 Fronteras de emisión

Existen dos "tipos" de frontera que se deben establecer al realizar una medición de GEI: un límite organizacional y un límite operativo. Los *límites organizacionales* permiten que una entidad pueda

⁶ GHG Protocol Corporate Standard.

distinguir entre las actividades que emiten GEI atribuibles a su organización, y las que no lo son. Por su parte, los *límites operativos* permiten a la entidad definir las emisiones que éstos poseen o controlan y clasificarlas en diferentes ámbitos (ya sean directos o indirectos). La división de las emisiones en diferentes ámbitos permite a una organización determinar las oportunidades de reducción que existen, así como proporcionar los conocimientos sobre donde se producen sus emisiones a lo largo de la cadena de valor.

5.1.1.1 Límites organizacionales

Al delimitar las fronteras organizacionales, se aplica una “lógica de control” que establece la cuenta de emisiones de las organizaciones/entidades que fueron generadas por actividades sobre las cuales se tenía control directo, en lugar de una cuota de capital propio. El GHG Protocol establece dos métodos cuando define el control: operacional y financiero. Para este inventario se utilizó el método de *control operacional*, entendido como “Una compañía tiene control operacional sobre una operación si ella o alguna de sus filiales tienen la plena autoridad para introducir e implementar sus políticas operativas en la operación” (GHG Protocol, WBCSD/WRI, 2004).

El control operacional abarca las actividades donde una organización tiene la autoridad para alterar directamente sus patrones de emisión, ya sea a través de la implementación de una política, de una tecnología o de cambios significativos en su funcionamiento.

5.1.1.2 Fronteras operacionales

La principal función de las fronteras operacionales es la creación de diferentes alcances con el fin de separar y definir las emisiones producidas por sus operaciones. Los 3 alcances se describen en detalle a continuación.

- **Alcance 1: emisiones directas de GEI:** Son las emisiones que se producen a partir de fuentes que son propiedad o están bajo el control de la organización. Las empresas reportan emisiones de GEI de fuentes propias o controladas como Alcance 1. Las emisiones directas de GEI son principalmente resultado de los siguientes tipos de actividades llevadas a cabo por la empresa:
 - Generación de electricidad, calor o vapor: Estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes fijas, tales como: calderas, hornos, turbinas, etc.
 - Procesos físicos o químicos: La mayor parte de estas emisiones resultan de la manufactura o el procesamiento de químicos y materiales, como cemento, aluminio, manufactura de amoníaco y procesamiento de residuos.
 - Transporte de materiales, productos, residuos y empleados: Estas emisiones resultan de la combustión de combustibles en fuentes móviles que son propiedad o están controladas por la empresa, tales como: camiones, trenes, barcos, aviones, autobuses y automóviles.
 - Emisiones fugitivas: Estas emisiones resultan de liberaciones intencionales o no intencionales, tales como: fugas en las juntas, sellos o empaques de los equipos; emisiones de metano provenientes de minas de carbón; emisiones de

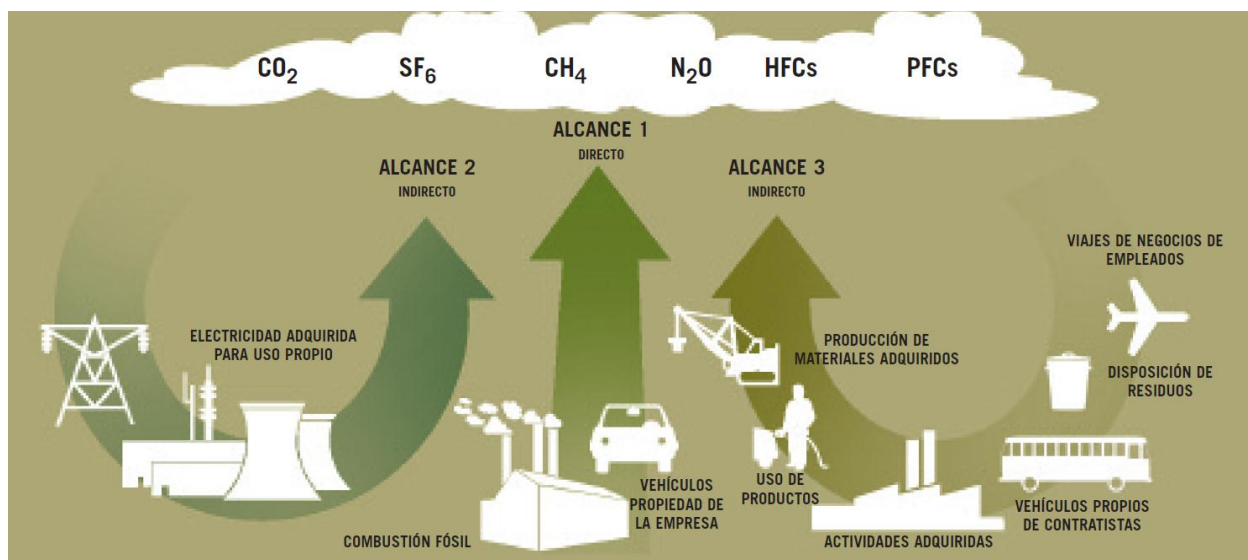
hidrofluorocarbonos (HFCs) durante el uso de equipo de aire acondicionado y refrigeración; y fugas de metano en el transporte de gas.

- **Alcance 2: emisiones eléctricas indirectas de GEI:** Son las emisiones procedentes de la electricidad consumida por la organización.
- **Alcance 3: otras emisiones indirectas de GEI:** Son las emisiones que son consecuencia de las actividades de la organización, pero que provienen de fuentes de las cuales no son propietarios o no están bajo su control. Entre ellas se incluyen las emisiones procedentes de los residuos, la extracción y producción de los materiales adquiridos desde terceros, el transporte de combustibles comprados, y el transporte de los empleados hacia y desde el lugar de trabajo.

Algunas de estas actividades se incluirán en el alcance 1 si las fuentes de emisión pertinentes son propiedad o están controladas por la empresa (por ejemplo, si el transporte de los productos es realizado en vehículos propiedad o controlados por la empresa). Para determinar si una actividad se encuentra dentro del alcance 1 o el alcance 3, la empresa debe referirse al método de consolidación seleccionado (participación accionaria o control) utilizado para definir sus límites organizacionales.

En la figura siguiente, se sintetiza gráficamente los tres alcances de las emisiones señalados previamente.

Figura 5 Resumen y alcances a través de la cadena de valor de una empresa



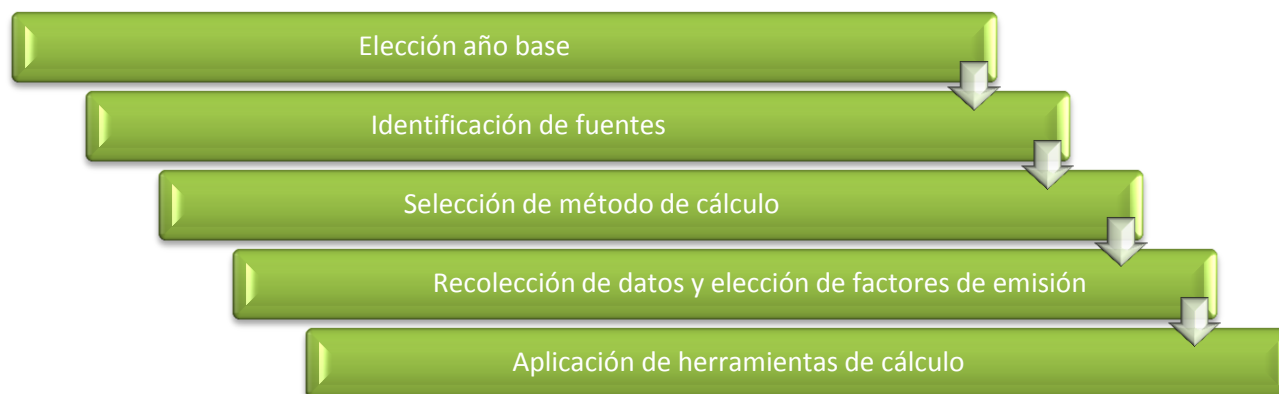
Fuente: [4] WBCSD/WRI, 2004. Protocolo de gases efecto invernadero. Estándar corporativo de contabilidad y reporte.

El GHG Protocol plantea que el Alcance 3 corresponde a una categoría de información voluntaria. En este sentido, es importante definir los Alcances 1 y 2 dentro del protocolo con el fin de asegurar que dos o más organizaciones no se hagan cargo de las mismas emisiones dentro del mismo Alcance.

5.1.2 Descripción metodológica

El esquema siguiente resume la metodología empleada para el cálculo de las emisiones de GEI.

Figura 6 Metodología del Inventario de emisiones de GEI según el GHG Protocol



Fuente: [4] WBCSD/WRI, 2004. Protocolo de gases efecto invernadero. Estándar corporativo de contabilidad y reporte.

5.1.2.1 Elección año base

Se debe elegir y reportar un año base para el cual exista información confiable de emisiones; también deben especificarse las razones que condujeron a la elección de ese año en particular. Es posible elegir como base un promedio de emisiones anuales durante varios años consecutivos.

5.1.2.2 Identificación de fuentes

Se deben identificar y calcular las emisiones de la empresa, es decir, se deben categorizar las fuentes de emisiones de GEI dentro de los límites de la empresa. Las emisiones de GEI típicamente provienen de combustión fija, combustión móvil, emisiones de proceso o emisiones fugitivas.

Cada empresa tiene procesos, productos o servicios que generan emisiones directas o indirectas de una o más de las grandes categorías de fuentes previamente mencionadas. Las herramientas de cálculo del ECCR están organizadas con base en estas categorías.

Se deben identificar las fuentes de emisión directas (Alcance 1) en cada una de las cuatro categorías anteriormente mencionadas (página 20). Luego se deben identificar las fuentes de emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad, vapor o calor adquiridos (Alcance 2). Finalmente, existe un paso opcional que implica la identificación de otras emisiones indirectas provenientes de las actividades corriente arriba o corriente abajo de una empresa, así como emisiones asociadas a la manufactura realizada por terceros a cuenta de la empresa o subcontratada, arrendamientos o franquicias no incluidas en los alcances 1 y 2 (Alcance 3).

La inclusión de emisiones de Alcance 3 permite a las empresas expandir el límite de su inventario a lo largo de su cadena de valor e identificar todas las emisiones relevantes de GEI. Esto ofrece un amplio panorama de las relaciones de las empresas y las posibles oportunidades para reducciones significativas de emisiones de GEI que pueden existir corriente arriba o corriente abajo de las operaciones inmediatas de la empresa.

5.1.2.3 Selección de un método de cálculo

La aproximación más común para calcular las emisiones de GEI es mediante la aplicación de factores de emisión documentados. Estos factores son cocientes calculados que relacionan emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión. Los lineamientos del IPCC (IPCC, 1996) aluden a una jerarquía de métodos y tecnologías de cálculo que van de la aplicación de factores genéricos de emisión al monitoreo directo.

Las empresas deben utilizar el método de cálculo más exacto que se encuentre a su disposición y que sea apropiado dentro del contexto de su reporte.

5.1.2.4 Recolección de datos de actividades y elección de factores de emisión

Para la mayoría de las empresas pequeñas y medianas, y para muchas grandes empresas, las emisiones de Alcance 1 serán calculadas con base en las cantidades adquiridas de combustibles comerciales utilizando los factores de emisión publicados. Por su parte, las emisiones de Alcance 2 se calcularán primordialmente a partir del consumo medido de electricidad y de factores de emisión publicados por los proveedores de electricidad o por la red eléctrica local. Las emisiones de Alcance 3 se calcularán principalmente a partir de los datos de las actividades de la empresa y factores de emisión publicados o de terceras partes. En la mayoría de los casos, si los factores específicos de emisión de la fuente o instalación están disponibles, son preferibles a factores de emisión más genéricos o generales.

5.1.2.5 Aplicación de herramientas de cálculo

Las empresas pueden sustituir sus propios métodos de cálculo de GEI siempre y cuando sean más exactos o, al menos, consistentes con los métodos del ECCR.

La mayoría de las empresas deberán utilizar más de una herramienta de cálculo para cubrir la totalidad de sus emisiones de GEI.

Para el cálculo de emisiones, se emplea la siguiente fórmula general:

Ecuación 1: $E = A \times FE$

Donde:

E: Emisión

A: Nivel de actividad de la fuente

FE: Factor de Emisión

El Factor de Emisión “FE” es una relación entre la cantidad de gas efecto invernadero emitido a la atmósfera y una unidad de actividad, que depende del tipo de fuente y contaminante a considerar.

6. CÁLCULO DE LAS EMISIONES GENERADAS POR EL PROYECTO

6.1 AÑO BASE

Para el inventario de emisiones de GEI se consideraron las emisiones anuales asociadas a las etapas de construcción (período entre 2011 y 2016) y operación del PHAM (desde 2017 hasta 2021⁷). De esta manera es posible identificar las fuentes más intensivas año a año.

6.2 FUENTES DE EMISIÓN

Las emisiones directas (Alcance 1) provienen de las siguientes categorías de fuentes:

- Combustión fija por uso de maquinaria y equipos durante la etapa de construcción.
- Combustión móvil debida al transporte de marinas, transporte de insumos y transporte de trabajadores durante la etapa de construcción.

Las principales emisiones generadas por el Proyecto corresponderán a los gases CO₂, CH₄ y N₂O producidos por el rodado de vehículos por caminos durante el transporte de materiales y trabajadores así como también el uso de equipos y maquinaria, durante la etapa de construcción.

Se consideró que las emisiones asociadas al transporte de trabajadores durante la operación son despreciables, puesto que el flujo vehicular en esta etapa se verá muy reducido en comparación a la fase de construcción, por lo que no se incluyeron en el cálculo.

Las faenas relacionadas con el movimiento de suelo y rocas así como con la perforación y las tronaduras requieren del uso de maquinarias y equipos que efectúan emisiones de GEI por combustión estacionaria. Estos equipos y maquinarias se detallan en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 7 Maquinaria empleada para movimiento de suelo y rocas





Maquinaria/equipo		N°	Faena	Obra o actividad asociada
Bulldozer		17	Escarpe	<ul style="list-style-type: none"> • Despeje de áreas de faenas • Despeje de sitios de acopio de marinas • Despeje de zonas de construcción de OOC
Retroexcavadoras		7	Excavación/Carga y Descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación en caminos • Excavación para instalación de ductos • Excavación de cámara de carga
Cargador Frontal		20	Carga y Descarga	<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de excedentes de excavaciones • Movimiento de rellenos para caminos • Movimiento de marinas

⁷ El año 2021 corresponde al último año en el cual se efectuarán compensaciones de vegetación.

Maquinaria/equipo		N°	Faena	Obra o actividad asociada
Cintas transportadoras y carros		3	Transporte de marinas al interior de los túneles	<ul style="list-style-type: none"> Movimiento de marinas
Motoniveladora		2	Nivelación	<ul style="list-style-type: none"> Distribución de material de relleno en caminos y ductos Compactación de caminos Nivelación y compactación de sitios de acopios de marinas
Rodillos Compactadores		2	Compactación	

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener.







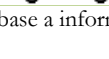
Tabla 8 Maquinaria empleada en perforación y tronaduras

Maquinaria/equipo		N°	Faena	Obra o actividad relacionada
Perforadoras manuales		32	Perforación	<ul style="list-style-type: none"> Excavación de Túneles Excavación de cavernas Excavación de chimeneas
Perforadora sobre orugas		3	Perforación	
Jumbo		12	Perforación y excavación	
Maquinas tuneladoras		3	Perforación y excavación	

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener.

Por otro lado, las emisiones debido a combustiones móviles se deben al uso de vehículos para transportar materiales y pasajeros, como los descritos a continuación.

Tabla 9 Vehículos para transporte de materiales y trabajadores

Vehículo		N°	Faena/Actividad
Camiones Tolva		18	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de excedentes de excavación Transporte de marinas Transporte de áridos
Camiones Betoneras		16	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de hormigón
Camiones Aljibes		2	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de agua
Camiones Tanque		2	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de combustible
Camiones Medianos		7	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de materiales (misceláneos)
Buses		9	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de trabajadores
Camionetas		7	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de trabajadores

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por AES Gener.

No se consideran emisiones indirectas (Alcance 2), dado que durante el período de construcción el Proyecto se suministrará directamente de energía eléctrica generada en otra central hidroeléctrica existente (el factor de emisión de CO₂ asociado es igual a 0).

Las emisiones de Alcance 3 contemplan:

- Emisión de CH₄ y N₂O producto del tratamiento de las aguas servidas⁸ durante la construcción.
- Emisiones y capturas de CO₂ debido a la intervención de la vegetación del lugar, durante la construcción y operación.

En la siguiente tabla se distinguen las principales fuentes de emisión del Proyecto, según su alcance, y el tipo de contaminante emitido.

Tabla 10 Tipos de emisiones de GEI identificadas de acuerdo a los criterios del IPCC

Alcance	Fuente de emisión				Categorías de fuentes y sumideros a evaluar en el análisis de las categorías principales (IPCC)	Gases a evaluar	Fase Construcción	Fase Operación	
1	Quema de combustible (diesel líquido)	Combustión Fija	Maquinaria y equipos		1A2: Actividades de quema de combustible - Industrias manufactureras y de la construcción; 1A3e: Actividades de quema de combustible - Transporte – Otro transporte	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente	
		Combustión Móvil	Transporte de marinas	1A3b: Actividades de quema de combustible - Transporte – Transporte terrestre	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente		
			Transporte de insumos			Presente	Ausente		
		Transporte de trabajadores			Presente	Ausente			
3	Intervención de la vegetación	Emisiones por deforestación	Quema por consumo de leña		3B5b: Tierras convertidas en asentamientos; 3B6b: Tierras convertidas en otras tierras;	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente	
			Descomposición de materia orgánica dispuesta en el suelo						CO ₂
		Captura y emisión por medidas de compensación y restauración	Captura por incremento de biomasa	PRV	3C1: Emisiones de GHG por quemado de biomasa	CO ₂	Presente	Presente	
				Compensación y reforestación			Presente	Presente	
			Descomposición de materia orgánica por senescencia				Presente	Presente	
							Presente	Presente	
		Plantas de tratamiento de aguas servidas				4D1: Desechos – Tratamiento y eliminación de aguas residuales - Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	N ₂ O, CH ₄	Presente	Ausente

Fuente: Elaboración propia en base al Cuadro 4.1 de *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* ([6] IPCC, 2006).

⁸ El Proyecto considera la instalación de una planta de tratamiento de aguas servidas en cada campamento (EIA)

6.3 ESTIMACIÓN DE EMISIONES GEI

Se realiza el inventario de emisiones de GEI de acuerdo a lo señalado en la Tabla 10, considerando los distintos alcances según la etapa del proyecto. En cada caso, se emplean factores de emisión, que de acuerdo a la Ecuación 1 (ver sección 5.1.2.5, pág. 23), deben ser aplicados sobre el nivel de actividad de cada fuente. El nivel de actividad puede referirse al consumo de energía por empleo de equipos, a vehículos kilómetros recorridos (VKT), o al producto entre la población atendida, el caudal tratado y la carga orgánica generada en una planta de tratamiento de aguas.

Una vez que se obtienen las toneladas de GEI generadas por cada tipo de fuente, se aplican los factores de equivalencia de emisiones para convertir las toneladas de los diferentes GEI en toneladas equivalentes de CO₂.

Esta equivalencia se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 11 Factores de equivalencia entre toneladas de N₂O y CH₄ con CO₂

Total de emisiones GEI	GEI		
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Factor [tCO ₂ e / tGEI]	1	310	21

Fuente: Elaboración propia en base a [5] IPCC, 1996: *Directrices del IPCC de 1996 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.

6.3.1 Alcance 1: Emisiones directas de GEI. Etapa de Construcción

En esta sección se estiman las emisiones asociadas al uso de combustibles. En primer lugar, se estiman las emisiones asociadas a combustiones estacionarias, como aquellas que son producidas por los motores de maquinarias y equipos. Por otro lado, también se estiman las combustiones móviles, las que se separan en tres grupos: combustiones asociadas al transporte de marinas y excedentes, combustiones asociadas al transporte de insumos, y combustiones asociadas al transporte de trabajadores. En todos los casos se supuso el empleo de combustible diesel líquido para los motores.

La estimación requiere del empleo de factores de emisión de GEI, obtenidos de las “Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero”, así como del cálculo del nivel de actividad de cada tipo de fuente.

Las ecuaciones que se muestran a continuación corresponden a las fórmulas de cálculo de la emisión en función del tipo fuente y contaminante emitido.

Tabla 12 Emisión de GEI según fuente identificada, para Alcance 1

Actividad	Emisión de GEI	Observación
Combustión estacionaria	Ecuación 2: $E = E_{base} \times FT \times (1 + FD)$	E: Emisión de GEI (ton) E _{base} : Emisiones de GEI de base (ton) FT: Factor Transiente FD: Factor de deterioro
	Ecuación 3: $E_{base} = HRS \times P \times FC \times FE \times K$	E _{base} : Emisiones de GEI de base (ton) HRS: Tiempo total de funcionamiento maquinaria (h) P: Potencia equipo (kW) FE: Factor de Emisión (kg/TJ) K: Factor de conversión de kg/TJ a ton/kWh. $K = \frac{10^{-3}}{2,778 \times 10^5}$
Combustiones móviles	Ecuación 4: $E = \frac{FE \times PCI \times CC \times VKT}{1000}$	E: Emisión de GEI (ton) FE: factor de emisión (kg contaminante/TJ) PCI: Poder calorífico inferior (TJ/kg combustible) CC: Consumo de combustible (kg combustible/km) VKT: Vehículos kilómetros (distancia total recorrida por grupo de vehículos, km)

Fuente: Elaboración propia en base a [6] IPCC, 2006: *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero* y [7] EMEP/EEA, 2010: *Emission inventory guidebook 2009, updated June 2010*. Capítulo: *Non-road mobile sources and machinery*.

A continuación, se describe en detalle el cálculo realizado para la obtención de los niveles de actividad, las emisiones de GEI y, finalmente, las emisiones en toneladas de CO₂ equivalente según el tipo de fuente.

6.3.1.1 Combustiones estacionarias: uso de maquinarias y equipos

Las emisiones desde los motores de combustión de maquinarias comprenden gases CO₂, N₂O y CH₄. En este caso la maquinaria considerada se refiere a la empleada en las faenas de movimiento de tierras y otras faenas.

Tabla 13 Asignación de maquinaria según tipo de obra

Equipos /maquinaria	Nº de equipos	Objetivo
Bulldozer 1	2	Escarpe
Retroexcavadoras	7	Excavación
Cargador Frontal	20	Carga/Descarga
Bulldozer 2	15	Carga/Descarga
Jumbo	12	Perforación
Perforadora sobre orugas	3	Perforación
Perforadoras manuales	32	Perforación
Maquinas tuneleras	3	Perforación
Motoniveladora	2	Nivelación
Rodillos Compactadores	2	Nivelación
Compresores diesel	32	Energía y apoyo a faenas Obras
Bombas de inyección	6	Energía y apoyo a faenas Obras

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 7 y Tabla 8 y [3] ARCADIS, 2008b: Tabla 4, Adenda 1.

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes de emisión está representado por su ocupación expresada en horas y la potencia asociada a cada maquinaria.

A partir de la distribución de las actividades en el tiempo y tipo de obra que se indica en la Tabla 3 (ver pág. 13), se estimaron los meses de ocupación de cada máquina y equipo, por faena de construcción para cada obra del Proyecto. El resumen de este resultado se presenta en las tablas siguientes:

Tabla 14 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en escarpe

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses
Área El Volcán	0	5	5	0	0	0	11
Área Yeso	0	12	12	0	0	0	25
Área Aucayes Alto	0	4	4	0	0	0	8
Área Alfalfal II	0	9	0	0	0	0	9
Área Las Lajas-Maipo	20	20	20	0	0	0	60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en excavaciones

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses
Área El Volcán	0	1	1	0	0	0	2
Área Yeso	0	1	1	0	0	0	2
Área Aucayes Alto	0	1	1	0	0	0	2
Área Alfalfal II	0	1	1	0	0	0	2
Área Las Lajas-Maipo	1	1	1	0	0	0	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en carga y descarga de excedentes

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses
Área El Volcán	0	1	1	0	0	0	2
Área Yeso	0	1	1	0	0	0	2
Área Aucayes Alto	0	1	1	0	0	0	2
Área Alfalfal II	0	1	0	0	0	0	1
Área Las Lajas-Maipo	1	1	1	0	0	0	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en carga y descarga de marinas

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses
Área El Volcán	0	0	12	12	12	6	42
Área Yeso	0	2	12	12	12	4	42
Área Aucayes Alto	0	0	7	12	10	0	29
Área Alfalfal II	0	2	12	7	10	0	31
Área Las Lajas-Maipo	0	2	12	12	12	0	38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en perforación

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses	Total meses
Área El Volcán	0	1	12	12	12	6		43
Área Yeso	0	2	12	12	12	4		42
Área Aucayes Alto	0	0	7	12	10	0		29
Área Alfalfal II	0	2	12	7	10	0		31
Área Las Lajas-Maipo	0	2	12	12	12	0		38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en nivelación

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses
Área El Volcán	0	4	12	12	12	6	46
Área Yeso	0	2	12	12	12	4	42
Área Aucayes Alto	0	0	4	0	0	0	4
Área Alfalfal II	0	4	6	0	0	0	10
Área Las Lajas-Maipo	1	8	12	12	9	0	42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20 Meses de ocupación de la maquinaria empleada en energización de obras civiles

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total meses
Área El Volcán	0	0	2	14	14	8	38
Área Yeso	0	8	2	14	14	0	38
Área Aucayes Alto	0	3	0	0	0	0	3
Área Alfalfal II	0	0	0	0	0	0	0
Área Las Lajas-Maipo	0	0	14	16	29	0	59

Fuente: Elaboración propia.

Las horas de ocupación total de la maquinaria se presentan a continuación, indicándose los supuestos empleados en su cálculo. Asimismo se presenta la potencia de cada máquina o equipo y la referencia de estos datos.

Tabla 21 Horas totales de ocupación de la maquinaria

Equipos /maquinaria	Potencia (hp)	Operación (h)	Supuesto de cálculo de horas
Bulldozer 1	180(a)	112	Estimada considerando una capacidad de la pala 3 m ³ de material a remover, y una velocidad media de la máquina de 3 km/h
Retroexcavadoras	250(a)	15.463	Estimada considerando una capacidad de la máquina de 100 m ³ /h
Cargador Frontal	250(a)	74.657	Estimada en base a una duración de 0,17 h por cada operación de carga/descarga, una capacidad de 3 m ³ /pala, densidades de 1,72 ton/m ³ para los excedentes y 2,6 para las marinas, y una ocupación de 8 horas diarias
Bulldozer 2	180(a)	55.993	Estimada en base a una duración de 0,17 h por cada operación de carga/descarga, una capacidad de 3 m ³ /pala, densidades de 1,72 ton/m ³ para los excedentes y 2,6 para las marinas, y una ocupación de 8 horas diarias
Jumbo	150(a)	43.920	Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias
Perforadora sobre orugas	170(a)	43.920	Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias
Perforadoras manuales	24(a)	43.920	Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias
Maquinas tuneleras	490(a)	43.920	Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias
Motoniveladora	155(b)	4.708	Estimada considerando una velocidad media de la máquina de 3 km/h
Rodillos Compactadores	85(b)	4.708	Estimada considerando una velocidad media de la máquina de 3 km/h
Compresores diesel	15(c)	33.120	Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias
Bombas de inyección	40(d)	33.120	Estimada en base a una ocupación de 8 horas diarias

Fuente: Elaboración propia y (a) www.miningandconstruction.sandvik.com (b) <http://www.volvo.com> (c) <http://www.petersonpower.com> (d) <http://www.chemacinc.com>.

Los factores de carga, las horas de operación de cada tipo de máquina y la potencia (en kW) de cada equipo empleado para el cálculo de emisiones se exponen en la tabla siguiente.

Tabla 22 Información operativa de máquinas y equipos

Equipos /maquinaria	Operación (h)	Potencia (kW)	Factor de Carga
Bulldózer 1	112	133,2	0,50
Retroexcavadoras	15.463	185,0	0,60
Cargador Frontal	74.657	185,0	0,50
Bulldózer 2	55.993	133,2	0,50
Jumbo	43.920	111,0	0,43
Perforadora sobre orugas	43.920	125,8	0,43
Perforadoras manuales	43.920	17,76	0,40
Máquinas tuneleras	43.920	362,6	0,60
Motoniveladoras	4.708	114,7	0,40
Rodillos Compactadores	4.708	62,9	0,45
Compresores diesel	33.120	11,1	0,50
Bombas de inyección	33.120	29,6	0,50

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla "Operational data for construction machinery" ([7] EMEP/EEA, 2010); la tabla "Load Factor and Activity Estimates in Draft NONROAD2002" ([9] EPA, 2002); y la tabla "Stock and operational data for other machinery types in industry" ([11] National Environmental Research Institute, Denmark - DEA, 2006, página 971).

Para estimar las emisiones, se emplean los factores de emisión de GEI recomendados por la IPCC para maquinarias que operan con diesel.

Tabla 23 Factores de emisión de CO₂, N₂O y CH₄ para combustible diesel para las fuentes y maquinarias móviles todo terreno

GEI	Factor de Emisión [kg /TJ]
CO ₂	74.100,00
N ₂ O	28,60
CH ₄	4,15

Fuente: Cuadro 3.3.1 de las Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de GEI ([8] IPCC, 2006).

Se ha supuesto que el factor de deterioro (FD) es igual a 0 y que el factor transiente (FT) es 1,18 (el peor caso para motores diesel de acuerdo a Tabla 14 "Transient factors for diesel machinery" de [11] National Environmental Research Institute, Denmark - DEA, 2006: *Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985–2004 – and projections from 2005-2030*).

Finalmente, mediante las ecuaciones 2 y 3 (ver Tabla 12, pág. 28) se calculan las emisiones correspondientes a GEI emitidos por cada tipo de máquina, cada año de la construcción del proyecto.

Tabla 24 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de bulldozers para faenas de escarpe

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	418,1	1.065,1	871,2	-	-	-	2,4
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	0,2	0,4	0,3	-	-	-	0,0
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	0,1	-	-	-	-	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,5	1,2	1,0	0,0	0,0	0,0	2,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de retroexcavadoras para faenas de excavación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	2.933,6	166.910,8	370.379,8	-	-	-	540,2
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	1,1	64,4	143,0	-	-	-	0,2
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	0,2	9,3	20,7	-	-	-	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	3,3	187,1	415,1	0,0	0,0	0,0	605,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de cargadores frontales para faenas de carga y descarga

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	8.925,3	121.708,8	791.745,7	600.853,9	610.280,8	40.081,4	2.173,6
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	3,4	47,0	305,6	231,9	235,5	15,5	0,8
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	0,5	6,8	44,3	33,7	34,2	2,2	0,1
Emisiones [tCO₂e/año]	10,0	136,4	887,4	673,5	684,0	44,9	2.436,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de bulldozers para faenas de carga y descarga

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	4.819,7	65.722,8	427.542,7	324.461,1	329.551,6	21.644,0	1.173,7
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	1,9	25,4	165,0	125,2	127,2	8,4	0,5
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	0,3	3,7	23,9	18,2	18,5	1,2	0,1
Emisiones [tCO₂e/año]	5,4	73,7	479,2	363,7	369,4	24,3	1.315,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de jumbos para faenas de perforación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	-	25.238,8	198.304,9	198.304,9	201.910,4	36.055,4	659,8
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	9,7	76,5	76,5	77,9	13,9	0,3
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	1,4	11,1	11,1	11,3	2,0	0,0
Emisiones [tCO₂e/año]	0,0	28,3	222,3	222,3	226,3	40,4	739,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de perforadoras sobre orugas para faenas de perforación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	-	28.604,0	224.745,5	224.745,5	228.831,8	40.862,8	747,8
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	11,0	86,7	86,7	88,3	15,8	0,3
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	1,6	12,6	12,6	12,8	2,3	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	32,1	251,9	251,9	256,5	45,8	838,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de perforadoras manuales para faenas de perforación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	-	3.756,5	29.515,1	29.515,1	30.051,8	5.366,4	98,2
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	1,4	11,4	11,4	11,6	2,1	0,0
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	0,2	1,7	1,7	1,7	0,3	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	4,2	33,1	33,1	33,7	6,0	110,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de máquina tunelera para faenas de perforación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	-	115.042,0	903.901,2	903.901,2	920.335,8	164.345,7	3.007,5
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	44,4	348,9	348,9	355,2	63,4	1,2
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	6,4	50,6	50,6	51,5	9,2	0,2
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	128,9	1.013,1	1.013,1	1.031,5	184,2	3.370,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de motoniveladoras para faenas de nivelación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	30,8	22.618,1	20.369,9	12.298,4	10.235,0	2.434,2	68,0
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	8,7	7,9	4,7	4,0	0,9	0,0
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	1,3	1,1	0,7	0,6	0,1	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	25,4	22,8	13,8	11,5	2,7	76,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de rodillos compactadores para faenas de nivelación

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	19,0	13.953,9	12.566,9	7.587,3	6.314,3	1.501,8	41,9
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	5,4	4,9	2,9	2,4	0,6	0,0
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	0,8	0,7	0,4	0,4	0,1	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	15,6	14,1	8,5	7,1	1,7	47,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de compresores diesel para energización de obras

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	-	4.611,7	7.546,5	18.447,0	23.897,2	3.354,0	57,9
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	1,8	2,9	7,1	9,2	1,3	0,0
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	0,3	0,4	1,0	1,3	0,2	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	5,2	8,5	20,7	26,8	3,8	64,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35 Emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de bombas de inyección para energización de obras

GEI	Emisión anual de GEI [kg]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [kg CO ₂ /año]	-	12.298,0	20.124,0	49.191,9	63.725,9	8.944,0	154,3
N ₂ O [kg N ₂ O/año]	-	4,7	7,8	19,0	24,6	3,5	0,1
CH ₄ [kg CH ₄ /año]	-	0,7	1,1	2,8	3,6	0,5	0,0
Emisiones [tCO ₂ e/año]	0,0	13,8	22,6	55,1	71,4	10,0	172,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36 Estimación de emisiones de GEI por combustiones asociadas al uso de maquinarias y equipos diesel durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

GEI	Emisión anual de GEI [t]						Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
CO ₂ [tCO ₂ /año]	17,1	581,5	3.007,6	2.369,3	2.425,1	324,6	8.725,3
N ₂ O [tN ₂ O/año]	0,0	0,2	1,2	0,9	0,9	0,1	3,4
CH ₄ [tCH ₄ /año]	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,5
Emisiones [tCO ₂ e/año]	19,2	651,8	3.371,0	2.655,6	2.718,2	363,8	9.779,6

Fuente: Elaboración propia.

6.3.1.2 Combustiones móviles: transporte

Para estimar este tipo de emisiones, se emplean los factores de emisión de GEI recomendados por la IPCC para vehículos terrestres que operan con diesel.

Tabla 37 Factores de emisión por defecto de CO₂, N₂O y CH₄ para combustible diesel en el transporte terrestre

GEI	Factor de Emisión [kg / TJ]
CO ₂	74.100,0
N ₂ O	3,9
CH ₄	3,9

Fuente: Elaboración propia a partir de los cuadros 3.2.1 y 3.2.2 de las Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de GEI ([8] IPCC, 2006).

Se ha considerado que el poder calorífico inferior (PCI) del diesel tiene un valor de 10.273 [Kcal/kg] (BNE 2009: Factores de emisión de CO₂ de los combustibles más utilizados en Chile). Esto equivale a 4.3×10^{-5} [TJ]/kg].

A continuación se desarrolla el cálculo de las emisiones correspondientes a los distintos tipos de fuentes de combustión móvil.

i) Transporte de marinas y excedentes

El transporte de marinas y excedentes se realiza en camiones tolva que tienen un peso entre 16 y 32 toneladas y consumen diesel. De acuerdo a esto, el factor de consumo de combustible (CC) a aplicar es igual a 251 [g/km] (es decir, 0,25 [kg/km]) (Tabla 3-25: “Tier 2 average fuel consumption values” de [7] EMEP/EEA, 2010: *Emission inventory guidebook 2009, updated June 2010. Capítulo: Non-road mobile sources and machinery*).

Este transporte desde los frentes de trabajo hacia los sitios de acopio de marinas (SAM) empleará principalmente los caminos proyectados de conexión entre las obras y las rutas existentes. Sus características generales son las siguientes:

Tabla 38 Caminos proyectados de conexión entre las obras y las rutas existentes

Sector	Ancho Franja (m)	Longitud (km)	Acceso a	Conexión con
Área El Volcán	10	7,1	AAFF1, SAM1	G25
Área Yeso	10	4,2	AAFF2, SAM2,3 y4	G455
Área Aucayes Alto	10	18,7	AAFF3 y 4, SAM5, 6 y 9	G345
Área Las Lajas-Maipo	10	0,7	AAFF5 y 6, SAM7, 8, 10, 11, 13 y 14	G345

Fuente: Elaboración propia en base a [2] ARCADIS, 2008a: Tabla 2.3.2 EIA, Tabla 23 Adenda 1; y [3] ARCADIS, 2008b.

El nivel de actividad del tránsito por caminos corresponde a la distancia recorrida por los camiones tolva en los trayectos de caminos y rutas existentes (pavimentadas o con carpeta de tierra) usadas para transportar carga, expresadas en VKT.

La distancia recorrida por los camiones se determina a partir del volumen de marinas a remover (ver Tabla 4, pág. 16), la capacidad de los camiones (14 m³, equivalente a 30 t aprox. de capacidad) y la suma de las distancias de los tramos que componen las rutas en cada sector.

Las tablas siguientes muestran los resultados de estos cálculos.

Tabla 39 Kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos no pavimentados

Sector/Tipos de obra	Distancia recorrida por camiones (un sentido) VKT	Duración de la actividad de transporte de excedentes y marinas a SAM (meses)					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	13.521	0	5	3	7	7	4
Obras Previas	7.980	0	5	0	0	0	0
Obras Civiles	5.541	0	0	3	7	7	4
Área Yeso	41.801	0	3	7	12	7	2
Obras Previas	78	0	3	1	0	0	0
Túneles, cavernas y chimeneas	37.570	0	0	7	12	7	2
Obras Civiles	4.153	0	0	3	7	7	0
Área Aucayes Alto	63.817	0	0	4	0	0	0
Obras Previas	63.817	0	0	4	0	0	0

Sector/Tipos de obra	Distancia recorrida por camiones (un sentido) VKT	Duración de la actividad de transporte de excedentes y marinas a SAM (meses)					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área Alfalfal II	217.272	0	5	12	7	3	0
Obras Previas	68.504	0	5	7	0	0	0
Túneles, cavernas y chimeneas	148.768	0	2	12	7	3	0
Área Las Lajas-Maipo	140.136	0	2	12	12	10	0
Obras Previas	418	0	0	1	0	0	0
Túneles, cavernas y chimeneas	137.135	0	2	12	12	10	0
Obras Civiles	2.583	0	0	9	10	0	0
TOTAL	476.547	0	5	12	12	10	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40 Kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos pavimentados

Sector/Tipo de Obra	Distancia recorrida por camiones (un sentido) VKT	Duración de la actividad de transporte de excedentes y marinas a SAM (meses)					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área Las Lajas-Maipo	155.737	2	1	11	12	12	0
Obras Previas	4.735	2	1	0	0	0	0
Túneles, cavernas y chimeneas	131.076	0	0	11	12	10	0
Obras Civiles	19.926	0	0	6	12	12	0
TOTAL	155.737	2	1	11	12	12	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41 Resumen de kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos no pavimentados, por año, en un solo sentido

Sector	Distancia recorrida por camiones en calles no pavimentadas, por año [km]						Distancia total por sector [km]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Área El Volcán	-	7.979,9	791,6	1.847,1	1.847,1	1.055,5	13.521
Obras Previas	-	7.979,9	-	-	-	-	7.980
Obras Civiles	-	-	791,6	1.847,1	1.847,1	1.055,5	5.541
Área Yeso	-	58,7	10.144,9	17.811,5	11.102,5	2.683,6	41.801
Obras Previas	-	58,7	19,6	-	-	-	78
Túneles, cavernas y chimeneas	-	-	9.392,5	16.101,5	9.392,5	2.683,6	37.570
Obras Civiles	-	-	732,9	1.710,0	1.710,0	-	4.153
Área Aucayes Alto	-	-	63.816,5	-	-	-	63.817
Obras Previas	-	-	63.816,5	-	-	-	63.817
Área Alfalfal II	-	40.940,7	114.344,6	43.390,5	18.595,9	-	217.272
Obras Previas	-	28.543,4	39.960,8	-	-	-	68.504
Túneles, cavernas y chimeneas	-	12.397,3	74.383,8	43.390,5	18.595,9	-	148.768

Sector	Distancia recorrida por camiones en calles no pavimentadas, por año [km]						Distancia total por sector [km]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Área Las Lajas-Maipo	-	7.618,6	47.353,1	47.071,2	38.093,1	-	140.136
Obras Previas	-	-	417,9	-	-	-	418
Túneles, cavernas y chimeneas	-	7.618,6	45.711,7	45.711,7	38.093,1	-	137.135
Obras Civiles	-	-	1.223,6	1.359,5	-	-	2.583
TOTAL	0	56.598	236.451	110.120	69.639	3.739	476.547

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 40 y Tabla 41.

Tabla 42 Resumen de kilómetros recorridos por transporte de excedentes y marinas en caminos pavimentados, por año, en un solo sentido

Sector	Distancia recorrida por camiones en calles pavimentadas, por año [km]						Distancia total por sector [km]
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Área Las Lajas-Maipo	3.157	1.578	47.677	55.634	47.691	-	155.737
Obras Previas	3.157	1.578	-	-	-	-	4.735
Túneles, cavernas y chimeneas	-	-	43.692	47.664	39.720	-	131.076
Obras Civiles	-	-	3.985	7.971	7.971	-	19.926
TOTAL	3.157	1.578	47.677	55.634	47.691	0	155.737

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 40 y Tabla 41.

Finalmente, mediante la Ecuación 4:

(ver Tabla 12, pág. 28) se calculan las emisiones correspondientes a GEI, y aplicando la equivalencia existente entre emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ se estiman las toneladas de CO₂-equivalente.

Tabla 43 Estimación de emisiones de GEI asociadas al transporte de marinas y excedentes durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

GEI	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
CO ₂ [tCO ₂ /año]	5,1	93,1	454,6	265,2	187,7	6,0	1.011,7
N ₂ O [tN ₂ O/año]	-	-	-	-	-	-	0,1
CH ₄ [tCH ₄ /año]	-	-	-	-	-	-	0,1
Emisiones [tCO₂e/año]	5,1	94,7	462,5	269,8	191,0	6,1	1.029,3

Fuente: Elaboración propia.

ii) Transporte de insumos

El transporte de insumos corresponde al transporte de áridos, cemento y misceláneos (materiales de construcción) en distintas zonas del Proyecto.

Para estimar las emisiones de GEI, se asignó un factor de consumo de combustible, de acuerdo al tipo de camión empleado para la tarea de transporte, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 44 Factor de consumo de combustible (CC) de acuerdo al tipo de camión involucrado en el transporte de insumos

Clasificación estandarizada de los camiones	Tipo de camión	Carga	Factor de consumo de combustible (CC)	
			[g/km]	[kg/km]
Camión de carga pesado. 16-32 ton. Convencional	Camión tolva	Áridos	251	0,25
	Camión betonera	Cemento		
Camión de carga pesado. 7,5-16 ton. Convencional	Camión mediano	Misceláneos	182	0,18

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 3-25: “Tier 2 average fuel consumption values” de [7] EMEP/EEA, 2010.

Se supone que la fuente de abastecimiento de cemento estará localizada en la comuna de Quilicura, mientras que la de materiales misceláneos en comuna de La Florida, y la de áridos en la localidad de Obra (comuna de San José de Maipo).

Las rutas empleadas en estos trayectos se indican a continuación:

Tabla 45 Rutas externas empleadas para el transporte de insumos para las obras

Ruta	Calle/camino	Origen	Destino	Longitud (km)	Tipo Carpeta	Carga
Tramo 1	Autopista Vespucio	Quilicura/Vespucio	Departamental/Vespucio	23	Pavimento	Cemento
Tramo 2	Autopista Vespucio	V.Mackenna/Vespucio	Departamental/Vespucio	1,6	Pavimento	Materiales misceláneos
Tramo 3	Av. La Florida-Ruta G25	Departamental/Vespucio	La Obra	15,5	Pavimento	Cemento Materiales misceláneos
Tramo 4	Ruta G25	La Obra	Descarga Río Maipo	7,5	Pavimento	Cemento Materiales misceláneos Áridos
Tramo 5	Ruta G25	Descarga Río Maipo	Río Colorado/G25	5,6	Pavimento	Cemento Materiales misceláneos Áridos
Tramo 6	Ruta G345	Río Colorado/G25	Los Maitenes	13,7	Pavimento	Excedentes y marinas Cemento Materiales misceláneos Áridos
Tramo 7	Ruta G25	Río Colorado/G25	G25/G455 (cruce El Yeso)	28	Pavimento	Cemento Materiales misceláneos Áridos
Tramo 8	Ruta G455	G25/G455 (cruce El Yeso)	Bocatoma El Yeso	19,5	Ripio	Cemento Materiales misceláneos Áridos
Tramo 9	Ruta G25	Bocatoma El Yeso	Bocatoma El Volcán	29,5	Ripio	Cemento Materiales misceláneos Áridos

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja “GEI Combust Móvil” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

La distancia que recorren los camiones depende de la zona en la que se encuentren trabajando. La Tabla 46 indica los tramos considerados en el cálculo de la distancia que recorre cada tipo de camión dentro de una zona. La distancia recorrida por tipo de carga de acuerdo al sector, se presenta en la Tabla 47.

Tabla 46 Rutas de transporte de insumos según sector y tipo de carga

Sector	Tramos [km]		
	Cemento (camión betonero)	Áridos (camión tolva)	Misceláneos (camión mediano)
Área El Volcán	1-3-4-5-7	1-3-4-5-7	2-3-4-5-7
Área Yeso	1-3-4-5-7	1-3-4-5-7	2-3-4-5-7
Área Aucayes Alto	1-3-4-5-6	4-5-6	2-3-4-5-6
Área Alfalfal II	1-3-4-5-6	4-5-6	2-3-4-5-6
Área Las Lajas-Maipo	1-3-4-5-6	4-5-6	2-3-4-5-6

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 45.

Tabla 47 Distancia recorrida por vehículo de transporte por sector según el tipo de carga, en una sola dirección

Sector	Distancia [km]		
	Cemento (camión betonero)	Áridos (camión tolva)	Misceláneos (camión mediano)
Área El Volcán	80	41	58
Área Yeso	80	41	58
Área Aucayes Alto	65	27	44
Área Alfalfal II	65	27	44
Área Las Lajas-Maipo	65	27	44

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 45 y Tabla 46.

Por otro lado, se determina el flujo de camiones necesario para transportar la totalidad de los insumos (Tabla 48⁹), dividiendo el total a transportar de cemento, áridos y materiales misceláneos por la capacidad de carga supuesta para cada camión (Tabla 49).

⁹ Tabla 2.3.11 [3] ARCADIS, 2008b.

Tabla 48 Insumos a transportar a las obras en toneladas

Sector	Cantidad a transportar (t)			Duración de la actividad de transporte de insumos a la obras (meses)					
	Cemento	Áridos	Misceláneos	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	12.000	-	8.650	-	5	12	12	12	6
Área Yeso	12.000	-	5.200	-	5	12	12	12	4
Área Aucayes Alto	56	28	9	-	3	7	12	10	-
Área Alfalfal II	9.944	4.972	1.541	-	5	12	11	10	-
Área Las Lajas-Maipo	52.000	100.000	15.600	2	12	12	12	12	-
Total General	86.000	105.000	31.000	2	12	12	12	12	6

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja "GEI Combust Móvil" en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Tabla 49 Capacidad de carga máxima por tipo de camión

Tipo de camión	Carga máxima [ton]	Referencias
Camión tolva	30	http://www.kaufmann.cl/camiones
Camión betonera	25	http://www.mcneilusconcrete.com/
Camión mediano	8,5	http://www.hyundaicamiones.cl/hd_120_ficha.aspx#fragment-4

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Así se obtiene el flujo de camiones por sector, para cada tipo de camión, como se indica en las tablas siguientes:

Tabla 50 Flujo de camiones betoneras para transporte de cemento, por sector y año

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	-	51	123	123	123	61
Área Yeso	-	53	128	128	128	43
Área Aucayes Alto	-	-	-	1	1	-
Área Alfalfal II	-	52	126	115	105	-
Área Las Lajas-Maipo	83	499	499	499	499	-
Total	83	656	876	866	855	104

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51 Flujo de camiones tolva para transporte de áridos, por sector y año

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	-	-	-	-	-	-
Área Yeso	-	-	-	-	-	-
Área Aucayes Alto	-	0,1	0,2	0,4	0,3	-
Área Alfalfal II	-	22	52	48	44	-
Área Las Lajas-Maipo	133	800	800	800	800	-
Total	133	822	853	848	844	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52 Flujo de camiones medianos para transporte de materiales misceláneos, por sector y año

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	-	108	260	260	260	130
Área Yeso	-	68	163	163	163	54
Área Aucayes Alto	-	-	-	0	0	-
Área Alfalfal II	-	24	57	52	48	-
Área Las Lajas-Maipo	73	440	440	440	440	-
Total	73	641	921	916	911	184

Fuente: Elaboración propia.

Multiplicando la distancia que recorre cada tipo de camión dentro de un sector, por el flujo de camiones del mismo tipo asociado, se obtiene la distancia total recorrida por los camiones de un tipo (por zona) en un viaje de ida. Multiplicando este resultado por 2, se obtiene la distancia recorrida en total (ida y vuelta) por los camiones de un mismo tipo de carga.

Tabla 53 Distancia total recorrida por camiones betoneras

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	0	8.129	19.510	19.510	19.510	9.755
Área Yeso	0	8.491	20.378	20.378	20.378	6.793
Área Aucayes Alto	0	27	64	110	92	0
Área Alfalfal II	0	6.835	16.404	15.037	13.670	0
Área Las Lajas-Maipo	10.866	65.196	65.196	65.196	65.196	0
TOTAL	10.866	88.678	121.552	120.231	118.845	16.548

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54 Distancia total recorrida por camiones tolva

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	0	0	0	0	0	0
Área Yeso	0	0	0	0	0	0
Área Aucayes Alto	0	5	11	19	16	0
Área Alfalfal II	0	1.169	2.805	2.571	2.338	0
Área Las Lajas-Maipo	7.147	42.880	42.880	42.880	42.880	0
TOTAL	7.147	44.054	45.696	45.470	45.233	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55 Distancia total recorrida por camiones medianos

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Área El Volcán	0	12.602	30.244	30.244	30.244	15.122
Área Yeso	0	7.912	18.989	18.989	18.989	6.330
Área Aucayes Alto	0	8	20	34	28	0
Área Alfalfal II	0	2.095	5.028	4.609	4.190	0
Área Las Lajas-Maipo	6.446	38.673	38.673	38.673	38.673	0
TOTAL	6.446	61.290	92.953	92.548	92.124	21.452

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, aplicando la Ecuación 4 (ver Tabla 12, pág. 28), se obtienen las emisiones de GEI por transporte de insumos, sumando las contribuciones de todos los tipos de camiones. Multiplicando por los factores de equivalencia entre toneladas de CH₄ y N₂O con tonelada de CO₂, se obtienen las emisiones en toneladas de CO₂ equivalente.

Tabla 56 Estimación de emisiones de GEI por combustiones asociadas al transporte de insumos durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

GEI	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
CO ₂ [tCO ₂ /año]	18,1	141,7	187,7	186,2	184,7	25,7	744,2
N ₂ O [tN ₂ O/año]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CH ₄ [tCH ₄ /año]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisiones [tCO₂e/año]	18,5	144,2	191,0	189,5	187,9	26,1	757,2

Fuente: Elaboración propia

iii) Transporte de trabajadores

El transporte de trabajadores se efectuará en buses y camionetas, a través de las siguientes rutas:

Tabla 57 Rutas de acercamiento de trabajadores a las obras

Ruta	Origen	Destino	Calle	Distancia (km)	Tipo Carpeta
Tramo 1'	Concha y Toro/Eyzaguirre	Ruta G25/Eyzaguirre	Eyzaguirre	5	Pavimento
Tramo 2'	Ruta G25/Eyzaguirre	La Obra	Av. La Florida-Ruta G25	3,9	Pavimento
Tramo 4	La Obra	Decarga Río Maipo	Ruta G25	7,5	Pavimento
Tramo 5	Decarga Río Maipo	Río Colorado/G25	Ruta G25	5,6	Pavimento
Tramo 6	Río Colorado/G25	Los Maitenes	Ruta G345	13,7	Pavimento
Tramo 7	Río Colorado/G25	G25/G455 (cruce El Yeso)	Ruta G25	28	Pavimento
Tramo 8	G25/G455 (cruce El Yeso)	Bocatoma El Yeso	Ruta G455	19,5	Ripio
Tramo 9	Bocatoma El Yeso	Bocatoma El Volcán	Ruta G25	30	Ripio

Elaboración propia.

En la Tabla 58 se resumen las distancias que recorren los vehículos dentro de una zona.

Tabla 58 Distancia recorrida por vehículo de transporte de trabajadores por sector, en una sola dirección

Sector	Vías pavimentadas		Vías no pavimentadas		Distancia Total [km]
	Tramos vías pavimentadas	Distancia [km]	Tramos vías no pavimentadas	Distancia [km]	Distancia total
Área El Volcán	1' - 2' - 4 - 5 - 7	50	9	30	80
Área Yeso	1' - 2' - 4 - 5 - 7	50	8	20	70
Área Aucayes Alto	1' - 2' - 4 - 5 - 6	36	-	0	36
Área Alfalfal II	1' - 2' - 4 - 5 - 6	36	-	0	36
Área Las Lajas-Maipo	1' - 2' - 4 - 5 - 6	36	-	0	36

Fuente: Elaboración propia. Mayor detalle ver hoja "GEI Combust Móvil" en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

De acuerdo a las rutas indicadas para el transporte de trabajadores (Tabla 57), se calculó el nivel de actividad y las emisiones asociadas al tránsito inducido por rutas pavimentadas y no pavimentadas, como la distancia recorrida por los vehículos generados por el Proyecto en los trayectos de caminos y rutas existentes, expresadas en VKT. Para efectos del cálculo de los caminos pavimentados se ha recurrido a determinar primero el flujo vehicular involucrado.

El flujo mensual de buses (con capacidad para 40 pasajeros/bus) para el transporte de trabajadores durante el periodo de construcción del Proyecto será el indicado en la **Tabla 59**. Además, en la **Tabla 60** se indica la cantidad de meses en que se desarrollarán las actividades de transporte de pasajeros, por sector.

Tabla 59 Flujo mensual de buses por transporte de trabajadores por sector según año del Proyecto

Año	Buses o camionetas (veh/mes)					
	Área El Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Las Lajas	Maipo
2011	2	10	0	18	12	0
2012	43	101	24	168	126	24
2013	61	142	34	237	179	34
2014	54	120	29	202	151	29
2015	15	41	7	69	50	7
2016	0	0	0	2	0	0
Total general	175	414	94	696	518	94

Fuente: Elaboración propia en base a [1] AMBITRANS, 2008. Mayor detalle ver hoja "GEI Combust Móvil" en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Tabla 60 Meses de actividad de buses por transporte de trabajadores por sector según año del Proyecto

Año	Buses (veh/mes)					
	Área El Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Las Lajas	Maipo
2011	3	3	11	7	11	11
2012	12	12	12	12	12	12
2013	12	12	12	12	12	12
2014	12	12	12	12	11	11
2015	11	9	1	1	0	0
2016	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a [1] AMBITRANS, 2008. Mayor detalle ver hoja “GEI Combust Móvil” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Multiplicando el flujo de vehículos por el tiempo en que éstos se encontrarán en actividad, se obtiene el número de buses (**Tabla 61**) y el número de camionetas que movilizarán a trabajadores (**Tabla 62**).

Tabla 61 Número de buses que transportan trabajadores por sector según año del Proyecto

Año	Número de buses por año					
	Área El Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Las Lajas	Maipo
2011	6	30	0	126	132	0
2012	516	1212	288	2016	1512	288
2013	732	1704	408	2844	2148	408
2014	648	1440	348	2424	1661	319
2015	165	369	7	69	0	0
2016	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a [1] AMBITRANS, 2008. Mayor detalle ver hoja “GEI Combust Móvil” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Tabla 62 Número de camionetas que transportan trabajadores por sector según año del Proyecto

Año	Número de camionetas por año					
	Área El Volcán	Área Yeso	Área Aucayes Alto	Área Alfalfal II	Las Lajas	Maipo
2011	120	600	-	1.080	720	-
2012	2.580	6.060	1.440	10.080	7.560	1.440
2013	3.660	8.520	2.040	14.220	10.740	2.040
2014	3.240	7.200	1.740		9.060	1.740
2015	900	2.460	420	4.140	3.000	420
2016	-	-	-	120	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a [1] AMBITRANS, 2008. Mayor detalle ver hoja “GEI Combust Móvil” en Anexo: Planilla de Cálculo de Emisiones.

Posteriormente, se determinaron las distancias VKTs recorridas por cada tipo de vehículo en los distintos sectores, de acuerdo a las ecuaciones indicadas en la tabla a continuación.

Tabla 63 Distancia total recorrida por todos los vehículos de transporte de pasajeros de un mismo tipo

Tipo de vehículo de transporte de trabajadores	VKT [km]	Comentarios
Buses interurbanos	Ecuación 5: $VKT = NB \times D \times 2$	VKT: distancia vehículos kilómetros recorridos (km) NB: número de buses D: distancia recorrida por un bus por sector, en un viaje, en un solo sentido (km)
Camionetas	Ecuación 6: $VKT = FV \times D \times 2 \times M \times 30$	VKT: distancia vehículos kilómetros recorridos (km) FV: flujo de vehículos por día por sector D: distancia recorrida por un vehículo por sector, en un viaje en un solo sentido (km) M: número de meses en operación vehículos

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de los cálculos de las distancias se resume en la Tabla 64.

Tabla 64 Distancia total recorrida por los vehículos de transporte de pasajeros [km], en ambos sentidos

Tipo de Vehículo	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Buses interurbanos	23.545	543.538	767.935	642.485	82.952	-	2.060.455
Camionetas	231.000	2.717.688	3.839.676	3.276.684	1.054.812	8.568	11.128.428

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar las emisiones, se asignó un factor de consumo de combustible, acuerdo al tipo de vehículo, pues el transporte de trabajadores se realiza en buses y camionetas en distintas zonas del proyecto.

Tabla 65 Factor de consumo de combustible (CC) de acuerdo al tipo de vehículo involucrado en el transporte de trabajadores

Clasificación estandarizada de los camiones	Tipo de camión	Factor de consumo de combustible (CC)	
		[g/km]	[kg/km]
Buses interurbanos diesel Euro III	Bus	247	0,247
Camionetas	Camioneta	89	0,089

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 3-25: "Tier 2 average fuel consumption values" de [7] EMEP/EEA, 2010.

De esta manera, aplicando la Ecuación 5 y Ecuación 6 (ver Tabla 63), se obtienen las emisiones de GEI por tipo de vehículo que transporta de trabajadores. Multiplicando por los factores de conversión correspondientes para pasar de tonelada de GEI a toneladas de CO₂ equivalente, se obtiene el siguiente nivel de emisiones.

Tabla 66 Emisiones de GEI por combustiones asociadas a transporte de trabajadores durante la etapa de construcción del PHAM, en toneladas de CO₂-equivalentes por año

GEI	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total emisiones GEI proyecto [tGEI]
CO ₂	84,1	1.198,8	1.693,7	1.435,3	364,5	2,4	4.778,9
N ₂ O	0,004	0,063	0,089	0,076	0,019	0,000	0,252
CH ₄	0,004	0,063	0,089	0,076	0,019	0,000	0,252
Emisiones [tCO ₂ e/año]	85,5	1.219,7	1.723,3	1.460,3	370,9	2,5	4.862,1

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 Alcance 3: emisiones indirectas de GEI. Etapas de Construcción y Operación

En esta sección se estiman las emisiones indirectas asociadas al tratamiento de aguas servidas y a las capturas y emisiones de CO₂ equivalente generadas por la intervención de la vegetación presente en el sitio donde se emplaza el PHAM.

La estimación requiere del empleo de factores de emisión de GEI, obtenidos de diversas fuentes, así como del cálculo del nivel de actividad de cada tipo de fuente.

En las secciones siguientes, se explicitan las metodologías empleadas para el cálculo de las emisiones de GEI para cada fuente identificada dentro del Alcance 3, y se realiza la estimación de las emisiones.

6.3.2.1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas (etapa de construcción)

De acuerdo al EIA del Proyecto, se requerirá de un sistema de tratamiento de aguas servidas generadas por los trabajadores durante la construcción. Las aguas servidas serán tratadas en Plantas de Tratamientos Modulares, de tipo lodos activados, localizadas en los campamentos del Proyecto, las cuales contarán con la aprobación de la autoridad sanitaria respectiva.

Durante el periodo de invierno, estas aguas tratadas serán descargadas a los cursos de aguas superficiales más cercanos, cumpliendo con límites máximos establecidos por el D.S. N° 90/2001 en su Tabla N° 1 que fija “Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpo de aguas fluviales”. En temporada seca, las aguas tratadas serán reutilizadas para la humectación de superficies (ver Anexo 18 del EIA).

Las aguas generadas en los frentes de trabajo, producto de la utilización de baños químicos, serán trasladadas por el contratista, mediante camiones limpia fosas, a los campamentos para su posterior tratamiento.

Las coordenadas aproximadas de dichas descargas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 67 Ubicación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

Planta de tratamiento	Tipo de agua tratada	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S	
		Este	Norte
Nº 1 Sector El Volcán	Servida y RIL	405303	6260071
Nº 2 Sector El Yeso	Servida y RIL	398654	6272774
Nº 3 Sector Aucayes Alto	Servida y RIL	384920	6285599
Nº 4 Sector Aucayes Bajo	Servida y RIL	384676	6289027
Nº 5 Sector Túnel Las Lajas	Servida y RIL	379797	6287040

Fuente: Elaboración propia en base al EIA del PHAM.

La capacidad máxima de cada campamento es de 400 trabajadores. Se adopta un criterio conservador, y se supone que las plantas de tratamiento de aguas entrarán en funcionamiento a partir del segundo semestre de 2012, y estarán operativas hasta fines de 2016 (todo el tiempo que se encuentre operativo el campamento).

De acuerdo a las Directrices de la IPCC y a la USEPA, en el inventario sólo se deben reportar las emisiones de CH₄ y N₂O.

Según el Cuadro 6.1 de las Directrices de la IPCC, las plantas a instalar en los campamentos corresponden a plantas de tratamiento centralizado aeróbico de aguas servidas, y su potencial de emisión de CH₄ y N₂O está descrito como sigue:

- Pueden producir poco CH₄ en bolsones anaeróbicos.
- Los sistemas de tratamiento mal diseñados o gestionados producen CH₄.
- Las plantas avanzadas con eliminación de nutrientes (nitrificación y desnitrificación) son pequeñas, pero fuentes diferenciadas de N₂O.

Para estimar las emisiones, se emplearon fórmulas que permiten incorporar las características de cada planta de tratamiento.

Tabla 68 Emisión de GEI según tipo de emisión proveniente del tratamiento de aguas servidas (Alcance 3)

Actividad	Modelo empleado	Estimación de emisión de GEI	Observación
Tratamiento de aguas servidas	IPCC-US1AST-CH4: Utilizado para estimar la emisión de CH ₄ desde aguas servidas tratadas en instalación. Emplea la metodología por defecto del IPCC (2000), modificada de acuerdo a USEPA (1997) para incorporar valores específicos de cada planta de tratamiento. Incorpora como parámetro adicional el CH ₄ recuperado en la planta de tratamiento.	Ecuación 7: $E = \left[\sum (P_{pt} \times DBO_p \times F_{DBO} \times EF) - MR \right] \times K$	E: Emisión de CH ₄ (tCH ₄). P _{pt} : Población servida por planta de tratamiento (personas). DBO _p : DBO per cápita (DBO/año/persona). F _{DBO} : Fracción de DBO fácilmente degradable por el tratamiento. EF: Factor de emisión de CH ₄ (kg CH ₄ / kg DBO). MR: Metano recuperado (kg CH ₄ / año). K: Factor de conversión de kg a tK = 10 ⁻³ (t/kg).
	DL3AST-CH4: Adaptación del modelo de	Ecuación 8:	E: Emisión de N ₂ O (tN ₂ O). P _{pt} : Población servida por planta de

Actividad	Modelo empleado	Estimación de emisión de GEI	Observación
	Doorn y Liles (1999). La modificación permite ingresar datos específicos por planta de tratamiento.	$E = \left[\sum (P_{pt} \times DBO_p \times F_{DBO} \times FEN) \right] \times K$	tratamiento (personas). DBO_p : DBO per cápita (DBO/año/persona). F_{DBO} : Fracción de DBO fácilmente degradable por el tratamiento. FEN : Factor de emisión de N_2O (kg N_2O / kg DBO). MR : Metano recuperado (kg CH_4 /año). K : Factor de conversión de kg a tK = 10^{-3} (t/kg).

Fuente: Elaboración propia en base a [14] IPCC, 2006: *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero* y [12] LARA, S., 2003: *Estimación de emisiones de gases con efecto invernadero, provenientes del tratamiento de aguas servidas en la Región Metropolitana*. Tesis para optar al Grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile.

Los factores de emisión empleados en los cálculos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 69 Factores de emisión de N_2O y CH_4 para plantas de tratamiento de aguas servidas aeróbicas

GEI	Factor de Emisión [kg GEI / kg DBO]	Referencia
CH_4	0,22 [kg CH_4 / kg DBO]	[13] INIA, CONAMA, P.N.U.D. Chile, 2010. Informe Final: Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos.
N_2O	0,051 [kg N_2O / kg DBO]	[12] LARA, S., 2003. Estimación de emisiones de gases con efecto invernadero, provenientes del tratamiento de aguas servidas en la Región Metropolitana.

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

Otros parámetros empleados en los cálculos de emisiones se señalan a continuación:

Tabla 70 Valores de algunos de los parámetros empleados en la estimación de emisiones de GEI asociada al tratamiento de aguas servidas

Parámetro	Valor	Referencia
DBO_p	21,9 [kg DBO / año / persona]	[13] INIA, CONAMA, P.N.U.D. Chile, 2010. Informe Final: Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos.
F_{DBO}	0,5	[17] IPCC, 2006. Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero
MR	0	[13] INIA, CONAMA, P.N.U.D. Chile, 2010. Informe Final: Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos.

Fuente: Elaboración propia en base a referencias.

i) Emisión de CH_4 por tratamiento de aguas servidas

Se estiman las emisiones de CH_4 asociadas al tratamiento de aguas servidas, empleando la Ecuación 7 (ver Tabla 68). Para ello, se emplean los valores indicados en la Tabla 69 y la Tabla 70. El resultado se expone en la tabla siguiente:

Tabla 71 Emisiones de CH₄ por tratamiento de aguas servidas durante la etapa de construcción del PHAM, en toneladas por año

Nº ID Planta	Sector	Emisiones GEI por año [t/año]					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	El Volcán	-	0,11	0,21	0,21	0,21	0,21
2	El Yeso	-	0,11	0,21	0,21	0,21	0,21
3	Aucayes Alto	-	0,11	0,21	0,21	0,21	0,21
4	Aucayes Bajo	-	0,11	0,21	0,21	0,21	0,21
5	Túnel Las Lajas	-	0,11	0,21	0,21	0,21	0,21
TOTAL EMISIONES CH ₄ [tCH ₄ /año]		-	0,54	1,07	1,07	1,07	1,07
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]		-	11,2	22,5	22,5	22,5	22,5

Fuente: Elaboración propia.

ii) Emisión de N₂O por tratamiento de aguas servidas

Se estiman las emisiones de N₂O asociadas al tratamiento de aguas servidas, empleando la Ecuación 8 (ver Tabla 68). Para ello, se emplean los valores indicados en la Tabla 69 y la Tabla 70. El resultado se expone en la tabla siguiente:

Tabla 72 Emisiones de N₂O por tratamiento de aguas servidas durante la etapa de construcción del PHAM, en toneladas por año

Nº ID Planta	Sector	Emisiones GEI por año [t/año]					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	El Volcán	-	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
2	El Yeso	-	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
3	Aucayes Alto	-	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
4	Aucayes Bajo	-	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
5	Túnel Las Lajas	-	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05
TOTAL EMISIONES N ₂ O [tN ₂ O /año]		-	0,12	0,25	0,25	0,25	0,25
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]		-	38,5	76,9	76,9	76,9	76,9

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2.2 Capturas y emisiones de CO₂ por intervención de la vegetación (etapas de construcción y operación)

Durante la fase de construcción del Proyecto se intervendrá una superficie total aproximada de 105 ha. Las formaciones vegetacionales presentes en los sectores intervenidos corresponden a bosques, matorrales y praderas.

Las zonas de bosque abarcan una superficie total de 31,23 ha, las que se componen en su mayoría de bosque nativo del tipo esclerófilo, a excepción de una plantación forestal de eucaliptos que posee una superficie de 0,48 ha. Las zonas de matorrales intervenidos totalizan una superficie de 70,39 ha, de

las cuales 14,04 ha corresponden a matorrales de tipo esclerófilo y 56,35 ha corresponden a matorral esclerófilo andino. La superficie total de praderas que será intervenida durante la fase de construcción es de 7,28 ha, esta superficie incorpora 6,28 ha de vegas, correspondiente a 3,64 ha de matorral andino con vegas estacionales y 2,64 ha de vegas de borde de estero.

Para estimar las emisiones y capturas de GEI se consideró la vegetación que será afectada por las labores de despeje para la habilitación de obras y las medidas de compensación incluidas en el proyecto.

A continuación se detalla la metodología utilizada para la estimación y los resultados obtenidos.

i) Emisiones de CO₂ por deforestación

Para la estimación de emisiones de GEI se consideran todas aquellas obras que durante su construcción generarán un impacto sobre la vegetación existente (despeje). Entre las obras consideradas se incluyen los sitios de acopio de marinas, campamentos e instalaciones de faenas, caminos y bocatomas, entre otras.

De acuerdo a los compromisos adquiridos por el Proyecto, una parte de la vegetación presente en formación de bosque y de matorral, que no fue posible rescatar, será chipeada y dispuesta en el suelo para su posterior incorporación (rastros, hojas, ramas y ramillas) y el resto será dispuesto como leña para el uso de la comunidad (fuste).

La estimación de las emisiones de GEI por despeje de vegetación, contempla la emisión por consumo de leña de la comunidad, y la emisión por descomposición de la vegetación dispuesta en el suelo.

Los gases considerados en el cálculo de emisiones por quema de leña son CO₂, CH₄ y N₂O. Como supuesto se asume el consumo total de leña por la comunidad el año posterior a la intervención.

Para estimar las emisiones de CO₂ por descomposición de los restos vegetales chipeados (ramas, ramillas, hojas) y dispuestos en el suelo, se consideró una tasa de mineralización anual de 0,2, este valor es utilizado por defecto en el Inventario Nacional de GEI ([13] INIA, CONAMA, P.N.U.D. Chile, 2010).

En los sectores con vegetación no arbórea (matorrales), se consideró la totalidad de la vegetación extraída durante el despeje, a excepción de la biomasa rescatada, como material de chipeo para ser dispuesto en el suelo. Se decidió proceder de esta manera puesto que la disposición de leña considera principalmente troncos de árboles y arbustos de gran magnitud, los que en esta formación vegetal poseen una baja participación.

Para estimar las emisiones de GEI por consumo de leña y por descomposición de la biomasa dispuesta en el suelo, se consideró la metodología descrita a continuación.

Tabla 73 Metodología utilizada para estimar emisiones de GEI asociadas a la deforestación de la vegetación intervenida durante la construcción del PHAM

Ítem	Función	Observación
Emisiones por consumo de leña	$E_{CO2} = l_t * FE_2$ $E_{CH4} = l_t * FE_1 * FE_2$ $E_{N2O} = l_t * R_{N/C} * FE_1 * FE_2$	<p>E_{CO2}: emisiones anuales de CO_2 por quema de biomasa para leña (t/año).</p> <p>E_{CH4}: emisiones anuales de CH_4 por quema de biomasa para leña (t/año).</p> <p>E_{N2O}: emisiones anuales de N_2O por quema de biomasa para leña (t/año).</p> <p>FE_1: relación de emisión de gases.</p> <p>FE_2: relación de conversión por gas.</p> <p>$R_{N/C}$: relación nitrógeno/carbono. Valor por defecto 0,01 (IPCC, 1996).</p>
	$l_t = Bl_t * fox * fc$	<p>l_t: emisiones de carbono por consumo de leña al año t (t/año).</p> <p>Bl_t: biomasa total extraída anualmente para consumo de leña (tMS/año).</p> <p>fox: fracción de biomasa oxidada. Valor por defecto 0,9.</p> <p>fc: fracción de carbono presente en la biomasa. Valor por defecto 0,5.</p>
	$Bl_t = \sum bl_{tov} * S_{tov}$	<p>bl_{tov}: biomasa total consumida como leña en el año t, de la obra o (camino, campamento, sitio de acopio de marina, etc.) y la vegetación v (bosque, matorral, pradera) (tMS/año).</p> <p>S_{tov}: Superficie total intervenida al año t de la obra o y la vegetación v (ha).</p>
	$bl_{tov} = bt_{tov} * f_l$	<p>bt_{tov}: biomasa total extraída en el año t, de la obra o y la vegetación v (tMS/ha/año).</p> <p>f_l: fracción de biomasa dispuesta para leña.</p>
Emisiones por descomposición de biomasa dispuesta en el suelo	$E_{CO2} = \sum (bt_{tov} - bl_{tov}) * S_{tov} * f_m * f_c * FE_2$	<p>bt_{tov}: biomasa total extraída en el año t, de la obra o y la vegetación v (tMS/ha/año).</p> <p>bl_{tov}: biomasa total dispuesta como leña en el año t, de la obra o y la vegetación v (tMS/ha/año)</p> <p>S_{tov}: Superficie total intervenida al año t de la obra o y la vegetación v (ha).</p> <p>f_m: fracción de mineralización. Valor por defecto 0,2.</p> <p>f_c: fracción de carbono presente en la biomasa. Valor por defecto 0,5.</p> <p>FE_2: relación de conversión de carbono a CO_2.</p>

Fuente: Elaboración propia en base a IPCC ([15] IPCC, 1996, [16] IPCC, 2003 y [17] IPCC, 2006).

Los valores asociados a los factores de emisión (FE_1 y FE_2) considerados en el cálculo se señalan a continuación.

Tabla 74 Factores de emisión utilizados en el cálculo

Compuesto	Relación de emisión de gases distintos de CO ₂ (FE ₁)
CH ₄ /C	0,012
N ₂ O/N	0,007
Relación de conversión por gas (FE ₂)	
C/CO ₂	44/12
C/CH ₄	16/12
N/N ₂ O	44/28

Fuente: [15] IPCC, 1996

Las existencias de biomasa constituyen el principal dato de actividad requerido para estimar las emisiones de GEI por intervención de la vegetación. En los sectores de bosque, se estimó la biomasa aérea del sistema utilizando la información dispuesta en el Anexo 7 del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto, correspondiente al Plan de Manejo de Obras Civiles. Con esta información se realizó un análisis de las especies dominantes más representativas dentro de cada formación de bosque considerando diámetro, área basal y altura. Estas especies fueron utilizadas para estimar la biomasa total a intervenir por obra. Las especies seleccionadas fueron quillay, espino, litre y eucaliptus.

Para estimar la biomasa cosechada de quillay se utilizó la función de biomasa aérea total de árbol individual desarrollada por Sfeir ([18] Sfeir, J., 1990) y para estimar la biomasa aérea total de árbol individual de eucalipto se utilizó la función desarrollada por Gayoso ([19] Gayoso, 2002). Para estimar la biomasa total intervenida de litre y espino, se utilizaron los resultados obtenidos por Tapia ([20] Tapia, D., 2005) sobre existencias de biomasa aérea por hectárea para ambas especies.

Para estimar el contenido de carbono de la biomasa a intervenir se decidió utilizar el valor por defecto igual a 0,5 (IPCC, 1996), por considerarse el más conservador.

Para las formaciones de matorral, se estimó directamente el carbono contenido en la biomasa aérea, utilizando los resultados de Gayoso (2002) sobre contenido de carbono por hectárea en formaciones de matorrales para la localidad de Molina ubicada en el sector altoandino de la VII Región.

Finalmente, los resultados obtenidos de la estimación de emisiones de GEI asociadas a la intervención de biomasa, producto de la deforestación, se muestran a continuación.

Tabla 75 Emisiones de GEI por quema de leña proveniente de vegetación intervenida durante la etapa de construcción, en toneladas por año.

GEI	Emisiones GEI por año [t / año]					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CH ₄	-	0,5	1,3	12,9	-	8,3
N ₂ O	-	0,0	0,0	0,1	-	0,1
CO ₂	-	105,7	289,0	2.959,4	-	1.908,1
TOTAL EMISIONES [tCO₂e/año]	-	116,4	318,1	3.258,1	-	2.100,7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76 Emisiones de CO₂ por descomposición de la vegetación chipeada y dispuesta en el suelo, durante las etapas de construcción y operación, en toneladas por año.

Origen de biomasa chipeada	Emisiones GEI por año [t / año]										
	Fase de Construcción						Fase de Operación				
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Bosque	12,2	43,6	526,5	421,2	671,1	536,9	429,5	343,6	274,9	219,9	175,9
Matorral	1,0	101,3	239,4	192,8	159,5	128,1	102,5	82,0	65,6	52,5	42,0
Total Emisiones [tCO₂e/año]	13,2	145,0	765,9	614,0	830,6	665,0	532,0	425,6	340,5	272,4	217,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77 Total de emisiones de GEI por deforestación, durante las etapas de construcción y operación, en toneladas por año.

	Emisiones GEI por año [t/año]										
	Fase de Construcción						Fase de Operación				
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total Emisiones [tCO₂e/año]	13,2	261,3	1.084,0	3.872,1	830,6	2.765,7	6.325,3	425,6	340,5	272,4	217,9

Fuente: Elaboración propia.

ii) Captura y emisión de CO₂ por medidas de compensación

Entre los compromisos adquiridos por el Proyecto se encuentra la reforestación de especies intervenidas y en categoría de conservación como guayacán (*Porlieria chilensis*), frangel (*Kageneckia angustifolia*) y quisquito (*Erioseya curvispina*) los cuales serán compensados en una relación 10:1. Se estima que la intervención afectará un total de 3.011, 549 y 55 individuos, respectivamente.

Como medida de restauración se contempla el Plan de Restauración de la Vegetación (PRV), que se aplicará en los sectores afectados que no constituyen bosque. Su objetivo es estabilizar los suelos después de las obras y restituir en la medida de lo posible la vegetación preexistente con fines de control de la erosión, mitigación visual y restitución del hábitat faunístico. El PRV será implementado en todas las áreas de intervención del Proyecto excepto aquellas en que la cobertura vegetal es muy escasa y en donde el suelo existente en el área no asegure el prendimiento esperado de la restauración.

Además, en cumplimiento con la normativa vigente para sectores con formaciones de matorral y vegetación altoandina, AES Gener se compromete a compensar la totalidad de los individuos de quillay intervenidos por las obras en el marco de los decretos supremos D.S.N°82/74 MINAGRI y D.S.N°366/44 MINAGRI.

En consecuencia, la totalidad de las medidas de compensación y de restauración comprometidas por el Proyecto involucran la captura de CO₂ debido al incremento anual de la biomasa plantada. El

período de tiempo considerado en la estimación es de 11 años (2011-2021, se consideran ambos años inclusive), donde se estima que el año 2021 corresponde al último año comprometido para mantener un 75 % de prendimiento de la vegetación reforestada.

A continuación se detalla la metodología utilizada para estimar captura de CO₂.

Tabla 78 Metodología utilizada para estimar las capturas de CO₂ asociadas a medidas de compensación, durante las etapas de construcción y operación del PHAM

Ítem	Función	Observación
PRV	$C_{CO_2} = \sum [(Ib_{tov} * S_{tov}) * f_c] * FE_2$	C _{CO2} : total CO ₂ capturado anualmente por incremento de biomasa (tCO ₂ /año). Ib _{tov} : incremento en biomasa del año t, de la obra o y la vegetación v (t/ha/año). S _{tov} : superficie restaurada en el año t, de la obra o y la vegetación v (ha/año). f _c : fracción de carbono presente en la biomasa. Valor por defecto 0,5. FE ₂ : relación de conversión de carbono a CO ₂
Compensación	$C_{CO_2} = \frac{\sum (N_t * ib_t * tp) * f_c * FE_2}{1000}$	C _{CO2} : total CO ₂ capturado anualmente por incremento de biomasa (tCO ₂ /año). N _t : número de individuos a compensar al año t ib _t : incremento en biomasa de individuos en el año t (kg/año). tp: tasa de prendimiento de los individuos plantados (se asume 75%) f _c : fracción de carbono presente en la biomasa. Valor por defecto 0,5. FE ₂ : relación de conversión de carbono a CO ₂
	$E_{CO_2} = \sum M_t * f_m * f_c * FE_2$	E _{CO2} : emisión de CO ₂ por descomposición de la biomasa muerta. M _t : pérdida de biomasa por senescencia en el año t (25%) (kg) f _m : fracción de mineralización. Valor por defecto 0,2 f _c : fracción de carbono presente en la biomasa. Valor por defecto 0,5. FE ₂ : relación de conversión de carbono a CO ₂

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar la captura de CO₂ por incremento en la biomasa asociada al PRV, se utilizó el valor de incremento anual de biomasa para praderas y matorrales utilizado por defecto, 5 tMS/ha/año (IPCC, 2003) puesto que no se obtuvo información específica para la zona de estudio.

Para el caso de las especies a compensar y reforestar, como son guayacán, frangel, quisquito y quillay, solo fue posible estimar la biomasa a plantar por año y el incremento anual de biomasa de quillay, puesto que no se encontró información sobre funciones de biomasa o en su defecto de volumen para el resto de las especies.

Para estimar la biomasa de los individuos de quillay a compensar, se utilizó la función de biomasa aérea de árbol individual desarrollada por Sfeir ([18] Sfeir, J., 1990) donde se consideró una planta ideal de 20 cm de alto y 0,4 cm de diámetro.

El incremento anual en biomasa de individuos se obtuvo a partir del estudio realizado por Núñez ([21] Núñez, Y., 2006) equivalente a 0,92 kgMS/individuo/año.

Con los datos de actividad recopilados y los factores de emisión utilizados, se espera obtener como resultado una subestimación de la captura de CO₂ por motivos de compensación y reforestación.

Las capturas de CO₂ se estiman a partir de un prendimiento de un 75%, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 79 Capturas de CO₂ por incremento de biomasa asociado a medidas de compensación y restauración, en toneladas por año

Origen de captura	Capturas de CO ₂ por año [t / año]										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PRV (incremento anual de biomasa)	-	-	2,3	103,8	304,9	505,9	637,4	637,4	637,4	637,4	637,4
Compensación y reforestación (75% de premdimiento)	-	-	0,5	0,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Total Captura [tCO₂e/año]	-	-	2,8	104,7	306,2	507,2	638,7	638,7	638,7	638,7	638,7

Fuente: Elaboración propia.

Entre las medidas de compensación y reforestación de especies como el quillay, se contempla la senescencia de un 25% de los individuos. Se asume que esta biomasa muerta se descompone a una tasa anual de 0,2 (Inventario Nacional de GEI, 2010). A continuación se muestran los resultados de las emisiones anuales de CO₂ por descomposición de la biomasa muerta de individuos compensados.

Tabla 80 Emisiones de GEI por senescencia de individuos compensados, en toneladas por año

	Emisiones GEI por año [ton /año]										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total emisiones por senescencia [tCO₂e/año]	-	-	0,03	0,13	0,19	0,23	0,18	0,15	0,12	0,09	0,07

Fuente: Elaboración propia.

A continuación de muestra el balance de las emisiones y capturas de GEI generadas durante la fase de construcción y de operación del Proyecto por medidas de compensación y restauración. El signo negativo que antecede a los valores obtenidos para el balance de cada año indica que la cifra se refiere a capturas y no emisiones de GEI.

Tabla 81 Balance de emisiones y capturas de GEI por medidas de compensación y restauración.

	Emisiones GEI por año [t / año]										
	Fase de Construcción						Fase de Operación				
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total Emisiones [tCO₂ e/año]	-	-	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Total Captura [t CO₂-e/año]	-	-	2,8	104,7	306,2	507,2	638,7	638,7	638,7	638,7	638,7
BALANCE [tCO₂e/año]	-	-	-2,8	-104,5	-306,0	-507,0	-638,5	-638,5	-638,6	-638,6	-638,6

Fuente: Elaboración propia.

iii) Balance final de CO₂ por intervención de la vegetación

El balance final de capturas y emisiones de GEI se obtuvo como la diferencia entre las emisiones totales y las capturas totales de GEI generadas por la intervención directa de la vegetación durante el desarrollo del Proyecto. Para estimar las emisiones totales de GEI se consideró el consumo de leña, la descomposición del material chipeado dispuesto en el suelo y la senescencia de la vegetación a reforestar y compensar. Para estimar las capturas totales de GEI se consideró el incremento anual en biomasa de la vegetación a compensar y reforestar y la asociada al PRV.

El resultado final del balance se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 82 Balance final de capturas y emisiones de GEI por intervención de la vegetación, en toneladas por año

	Emisiones GEI por año [t / año]										
	Fase de Construcción						Fase de Operación				
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BALANCE [tCO ₂ e/año]	13,2	261,3	1.081,2	3.767,6	524,6	2.258,7	-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7

Fuente: Elaboración propia.

7. ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GEI DEL PROYECTO

7.1 EMISIONES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

La Tabla 83 presenta un resumen de las emisiones de GEI de Alcance 1 producidas durante la etapa de construcción del PHAM.

Tabla 83 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 1 durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

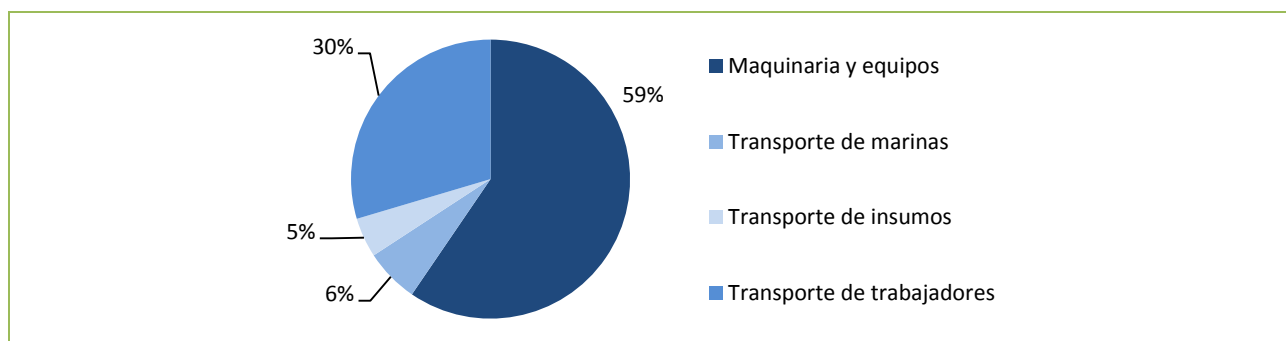
Fuente de emisión			2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total emisiones GEI [tCO ₂ e]
Quema de combustible (diesel líquido)	Combustión Fija	Maquinaria y equipos	19,2	651,8	3.371,0	2.655,6	2.718,2	363,8	9.779,6
	Combustión Móvil	Transporte de marinas	5,1	94,7	462,5	269,8	191,0	6,1	1.029,3
		Transporte de insumos	18,5	144,2	191,0	189,5	187,9	26,1	757,2
		Transporte de trabajadores	85,5	1.219,7	1.723,3	1.460,3	370,9	2,5	4.862,1
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]			128,2	2.110,4	5.747,8	4.575,2	3.467,9	398,5	16.428,2

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, durante todos los años en que el Proyecto se encuentre en construcción, se producirán en total 16.428,2 toneladas de CO₂ equivalente, producto de las emisiones de Alcance 1. Los años con mayor nivel de emisiones corresponden a 2013 y 2014, periodo durante el cual se efectuarán gran parte de las obras constructivas.

La distribución de las emisiones de Alcance 1 se resume en el siguiente gráfico:

Gráfico 1 Distribución de emisiones de GEI de Alcance 1. Fase de construcción PHAM



Fuente: Elaboración propia.

La fuente más intensiva corresponde al uso de maquinarias y equipos que operan con diesel (59% de las emisiones de Alcance 1), mientras que la fuente que constituye el aporte más bajo corresponde al transporte de insumos (5%).

En términos generales, se adoptaron supuestos conservadores para la estimación de las emisiones de GEI, tendiendo a sobreestimar la generación de estos gases, considerando el peor escenario cuando

no existía información más detallada (empleando el máximo de los factores de emisión asociados a cierto tipo de fuente, o el máximo del tiempo de utilización de una maquinaria).

Los cambios en el cronograma de obras pueden hacer variar las estimaciones anuales, ya sea adelantando/postergando emisiones o concentrándolas para un determinado año.

La Tabla 84 presenta un resumen de las emisiones de GEI de Alcance 3 producidas durante la etapa de construcción del PHAM.

Tabla 84 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 3 durante la etapa de construcción del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Fuente de emisión				2011	2012	2013	2014	2015	2016
Intervención de la vegetación	Emisiones por deforestación	Quema por consumo de leña		-	116,4	318,1	3.258,1	-	2.100,7
		Descomposición de materia orgánica dispuesta en el suelo		13,2	145,0	765,9	614,0	830,6	665,0
	Captura y emisión por medidas de compensación y restauración	Captura por incremento de biomasa	PRV	-	-	-2,3	-103,8	-304,9	-505,9
			Compensación y reforestación	-	-	-0,5	-0,8	-1,3	-1,3
		Descomposición de materia orgánica por senescencia		-	-	0,03	0,13	0,19	0,23
Plantas de tratamiento de aguas servidas				-	49,7	99,4	99,4	99,4	99,4
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]				13,2	311,0	1.180,6	3.867,0	624,0	2.358,1

Fuente: Elaboración propia.

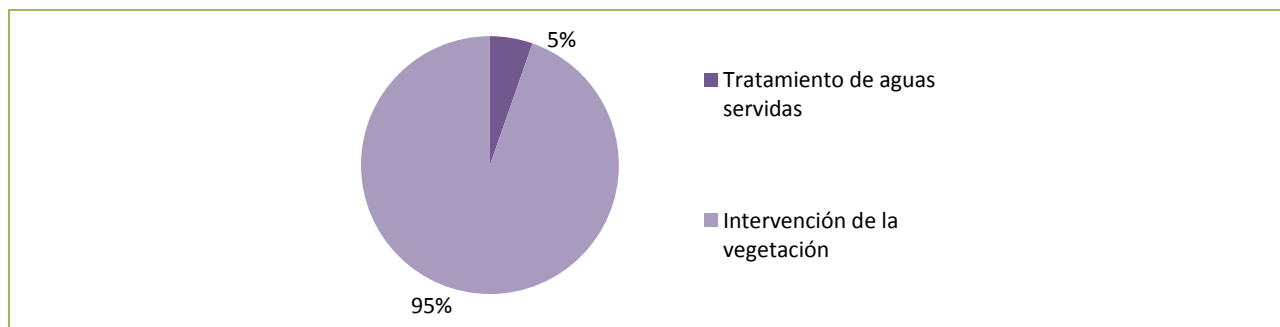
Como se observa en la tabla anterior, durante la fase de construcción las emisiones de Alcance 3 del Proyecto no excederán las 3.867,0 tCO₂e/año. El año 2014 concentra en la mayor parte de estas emisiones, originadas principalmente por la quema de leña.

Por otro lado, las plantas de tratamiento de aguas servidas se presentan como una emisión casi constante a lo largo del periodo, alcanzando casi las 100 tCO₂e/año.

Cabe notar que en este nivel de alcance también se adoptaron supuestos conservadores para la estimación de las emisiones.

La distribución de las emisiones de Alcance 3 del Proyecto, durante la construcción, se resume en el gráfico siguiente:

Gráfico 2 Distribución de emisiones de GEI de Alcance 3. Fase de construcción PHAM



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que durante la construcción el 95% de las emisiones de Alcance 3 se originarán por intervención de la vegetación. Las emisiones debidas al funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas servidas es poco significativa (5% de las emisiones de Alcance 3 durante la construcción).

7.2 EMISIONES DURANTE LA OPERACIÓN

La Tabla 85 presenta un resumen de las emisiones de GEI de Alcance 3 producidas durante la etapa de operación del PHAM.

Tabla 85 Estimación de emisiones de GEI de Alcance 3 durante la etapa de Operación del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Fuente de emisión				2017	2018	2019	2020	2021
Intervención de la vegetación	Emisiones por deforestación	Quema por consumo de leña		-	-	-	-	-
		Descomposición de materia orgánica dispuesta en el suelo		532,0	425,6	340,5	272,4	217,9
	Captura y emisión por medidas de compensación y restauración	Captura por incremento de biomasa	PRV	-637,4	-637,4	-637,4	-637,4	-637,4
			Compensación y reforestación	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3
		Descomposición de materia orgánica por senescencia		0,18	0,15	0,12	0,09	0,07
TOTAL EMISIONES [tCO ₂ e/año]				-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que durante la etapa de operación del PHAM las emisiones de GEI asociadas a la intervención de la vegetación son sobrepasadas por las capturas de CO₂ que ocurren producto del incremento de la biomasa, por ello se obtienen emisiones con signo negativo.

Estas capturas se van incrementando desde 106,5 tCO₂e en 2017, hasta 420,7 tCO₂e en 2021. En el gráfico siguiente se presenta de manera resumida el total de las emisiones del Proyecto asociadas a este tipo de fuente.

Gráfico 3 Distribución de emisiones de GEI de Alcance 3. Intervención de la vegetación. Fase de operación PHAM



Fuente: Elaboración propia.

El Plan de Restauración de la Vegetación (PRV) reduce de manera considerable las emisiones de CO₂ del Proyecto durante la operación, capturando 3.187 tCO₂e entre 2017 y 2021. A medida que aumente la biomasa de la vegetación, estas capturas aumentarán, por lo que si se extiende el horizonte del análisis se espera tener mayores reducciones de CO₂.

8. CONCLUSIONES

La tabla siguiente resume las principales fuentes de emisión de GEI del PHAM.

Tabla 86 Estimación de emisiones de GEI durante la construcción y operación del PHAM en toneladas de CO₂-equivalente por año

Alcance	Fase de Construcción							Fase de Operación					Total emisiones GEI proyecto
	Fuente de emisión	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
1	Quema de combustible (diesel líquido)	128,3	2.110,4	5.747,8	4.575,2	3.467,9	398,5	-	-	-	-	-	16.428,2
3	Tratamiento de aguas servidas	-	49,7	99,4	99,4	99,4	99,4	-	-	-	-	-	447,4
	Intervención de la vegetación	13,2	261,3	1.081,2	3.767,6	524,6	2.258,7	-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7	6.502,1
TOTAL EMISIONES [tCO₂e/año]		141,5	2.421,5	6.928,4	8.442,2	4.092,0	2.756,6	-106,5	-212,9	-298,1	-366,2	-420,7	23.377,7

Fuente: Elaboración propia.

El año que presentará mayor nivel de emisiones de GEI corresponderá al 2014, durante la fase de construcción, donde se emitirán 8.442,2 tCO₂e. Este año corresponde a uno de los más intensivos en actividades de construcción, y sus emisiones están principalmente asociadas a la combustión de diesel y a la intervención de la vegetación del área de emplazamiento del Proyecto.

A nivel de alcances, las mayores emisiones corresponden a aquellas consideradas dentro del Alcance 1, correspondientes a la quema de combustibles fósiles (70% del total de emisiones del Proyecto), en particular al uso de maquinaria y equipos (59% del total de emisiones de Alcance 1).

Se consideró que las emisiones de Alcance 2 eran nulas, puesto que la energía eléctrica a emplear en la construcción y operación proviene de otra central hidroeléctrica, tipo de fuente que tiene un factor de emisión asociado igual a cero.

Se observa que el aporte de las emisiones de Alcance 3 (plantas de tratamiento de aguas residuales e intervención de la vegetación) es en general pequeño durante la construcción, a excepción de los años en que la quema de leña es más significativa (2013-2014). Las emisiones por tratamiento de aguas servidas ocurrirán de manera casi constante a lo largo de la construcción, alcanzando las 99,4 tCO₂e. Durante la fase de operación del Proyecto, el incremento de la biomasa vegetal asociada a compensaciones se tornará más relevante, lográndose capturas de cientos de toneladas de CO₂e anualmente (3.187 toneladas de CO₂e entre 2017 y 2021, en total).

El análisis global del Proyecto permite establecer que las emisiones anuales no excederán el máximo del año 2014, por lo que ninguno de los años bajo análisis se excederá el límite de emisiones

establecido por los Estándares de Desempeño de la Corporación Financiera Internacional (25.000 tCO₂e/año), lo que hace innecesario determinar de manera más precisa las emisiones de GEI asociadas a las etapas de construcción y operación del Proyecto.

Los resultados del presente inventario se complementan con las estimaciones expuestas en el *Formulario Documento de Diseño Del Proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL-DDP)*. El nivel de las emisiones reportadas es muy poco significativo en comparación con la reducción de emisiones de CO₂ (1.508.761 toneladas de CO₂e/año) que se produce por la implementación del PHAM, al desplazar el suministro de energía desde plantas termoeléctricas que utilizan combustible con alto contenido de carbono actualmente en operación en el sistema y el suministro de energía limpia a la red desde el PHAM.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMBITRANS, 2008. Estudio de Impacto Vial “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Informe. Mayo.
- [2] ARCADIS, 2008a. Estudio de Impacto Ambiental, Adendas 1 y 2 del “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana.
- [3] ARCADIS, 2008b. Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo” Provincia Cordillera Región Metropolitana. Apéndice 1, Anexo 6 Balance Preliminar de Movimientos de Tierras y Marinas. Mayo.
- [4] WBCSD/WRI, 2004. Protocolo de gases efecto invernadero. Estándar corporativo de contabilidad y reporte.
- [5] IPCC, 1996. Directrices del IPCC 1996 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero.
- [6] IPCC, 2006. Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 2. Capítulo 2.
- [7] EMEP/EEA, 2010. Emission inventory guidebook 2009, updated June 2010. Capítulo: Non-road mobile sources and machinery.
- [8] IPCC, 2006. Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 2. Capítulo 3. Sección 1.
- [9] EPA, 2002. Median life, annual activity and load factor values for nonroad engine emissions modeling. Apéndice A. Tabla: “Load Factor and Activity Estimates in Draft NONROAD2002”.
- [10] DCE, AARHUS UNIVERSITY, 2012. Denmark’s national inventory report 2012. Tabla: “Operational data for construction machinery” y Tabla: “Stock and operational data for other machinery types in industry”.
- [11] National Environmental Research Institute, Denmark - DEA, 2006. Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985–2004 – and projections from 2005-2030. Tabla 14: “Transient factors for diesel machinery”.
- [12] LARA, S., 2003: Estimación de emisiones de gases con efecto invernadero, provenientes del tratamiento de aguas servidas en la Región Metropolitana. Tesis para optar al Grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile.
- [13] INIA, CONAMA, P.N.U.D. Chile, 2010: Informe Final, Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos. Chile. 192 pp.
- [14] IPCC, 2006. Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero. Volumen 5. Capítulo 6.
- [15] IPCC, 1996. Libro de trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. Módulo 5: Cambio de uso de la tierra y silvicultura.

- [16] IPCC, 2003. Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector CUTS.
- [17] IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.
- [18] Sfeir, J., 1990. Evaluación de la fitomasa y metabolitos de interés comercial en boldo (*Peumus boldus* Mol). Quillay (*Quillaja saponaria* Mol) y eucaliptos (*Eucalyptus spp.*) en la VII región. 83 pp.
- [19] Gayoso, 2002. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Inventario de biomasa y contabilidad de carbono, informe técnico. 127 pp.
- [20] Tapia, D., 2005. Propuesta de intervenciones silviculturales con fines de rehabilitación en la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. 94pp.
- [21] Núñez, Y., 2006. Crecimiento de un bosque raleado de *Quillaja saponaria* Mol., en la VI región. 54pp.

ANEXO

PLANILLA DE CÁLCULO DE EMISIONES

Se adjuntó en DC