

**REPÚBLICA DE CHILE  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL  
DIRECCIÓN EJECUTIVA**

**SE PRONUNCIA SOBRE LA  
OBSERVANCIA DE LA GUÍA QUE  
INDICA**

**RESOLUCIÓN EXENTA (Nº digital abajo  
al lado inferior izquierdo)**

**SANTIAGO,**

**VISTOS:**

Lo dispuesto en la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente (en adelante, “Ley N°19.300”); en el Decreto Supremo N°40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (en adelante, “Reglamento del SEIA”); en el Decreto con Fuerza de Ley N°1/19.653, que Fija el Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Ley N°18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado; en la Ley N°19.880, sobre Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; en el Decreto N°40, de fecha 06 de abril de 2022, del Ministerio del Medio Ambiente, que nombra Directora Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental; el Oficio Ordinario N° 202499102679, de fecha 30 de julio 2024, de la Directora Ejecutiva del SEA, que deja sin efecto y complementa instrucciones sobre la aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental y en la Resolución N°36 del 23 de diciembre del año 2024 de la Contraloría General de la República, que Fija Normas sobre Exención del Trámite de Toma de Razón.

**CONSIDERANDO:**

1. Que, la letra d) del artículo 81 de la Ley N°19.300 establece que corresponderá al Servicio de Evaluación Ambiental “uniformar los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los ministerios y demás organismos del Estado competentes, mediante el establecimiento, entre otros, de guías trámite”.
2. Que, el inciso 2º del artículo 4º del Reglamento del SEIA, dispone que el “Servicio podrá, de conformidad a lo señalado en el artículo 81 letra d) de la Ley, uniformar los criterios o exigencias técnicas asociadas a los efectos, características o circunstancias contempladas en el artículo 11 de la Ley, los que deberán ser observados para los efectos del presente Título” (Título II del Reglamento del SEIA).
3. Que, en el ejercicio de las facultades precedentemente señaladas, el Servicio ha elaborado la “Guía metodológica para la estimación y reporte de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta” (primera edición, 2025).

El objetivo de esta guía es entregar una metodología general para estimar las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos de vida corta (FCVC) para cualquier proyecto o actividad que sea sometida al SEIA y así, estandarizar el formato de reporte de dichas emisiones, en el marco de la dictación del Decreto Supremo N°30, del año 2023, del Ministerio del Medio Ambiente que modificó el Decreto Supremo N° 40, del año 2012, del mismo Ministerio, que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Reglamento del SEIA), definiendo los lineamientos de incorporación de la variable cambio climático en el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, especificando en sus artículos 18 y 19 como contenido mínimo de los proyectos o actividades que se sometan al SEIA, que los estudios y declaraciones de impacto ambiental deben contener “las emisiones, incluyendo las de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta, del proyecto o actividad y las formas de abatimiento y control contempladas”.

Esta metodología se centra en aquellas fuentes de combustión y fuentes industriales para las cuales exista información validada por los órganos competentes, según corresponda.

4. Que, de acuerdo a lo señalado en el Oficio Ordinario N° 202499102679, de fecha 30 de julio 2024, de la Directora Ejecutiva del SEA, que deja sin efecto y complementa instrucciones sobre la aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental, “*Los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental, que sean unificados por el Servicio en guías y criterios de evaluación, en conformidad con lo dispuesto en el artículo 81 letra d) de la Ley N° 19.300, se entenderán vigentes, en adelante, desde la fecha de publicación de un extracto en el Diario Oficial de la respectiva resolución exenta que tiene presente su observancia o del respectivo oficio, según corresponda. Lo anterior no obsta a que el servicio pueda publicar de manera preliminar dichos documentos en su sitio web.*”

**RESUELVO:**

- 1. Tener presente** la observancia del documento singularizado en el Considerando N°3 de la presente resolución.
- 2. Establecer que dicho documento se entenderá vigente desde la fecha de publicación del extracto de la presente resolución exenta en el Diario Oficial**, debiendo observarse su contenido de acuerdo con lo establecido en la letra d) del artículo 81 de la Ley N°19.300 y en el Decreto Supremo N°40, de 2012, Reglamento del SEIA, del Ministerio del Medio Ambiente.

**ANÓTESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE UN EXTRACTO DE LA PRESENTE RESOLUCIÓN EN EL DIARIO OFICIAL Y ARCHÍVESE**

**VALENTINA DURÁN MEDINA  
DIRECTORA EJECUTIVA  
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

**Distribución:**

- Direcciones Regionales, Servicio de Evaluación Ambiental
- División Jurídica, Servicio de Evaluación Ambiental.
- División de Evaluación y Participación Ciudadana, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Coordinación Regional, Servicio de Evaluación Ambiental.
- División de Tecnologías y Gestión de la Información, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Departamento de Auditoría Interna, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Departamento de Comunicaciones, Servicio de Evaluación Ambiental.

**C.c:**

- Dirección Ejecutiva, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Oficina de Partes, Servicio de Evaluación Ambiental



Firmado por: Juan  
Cristóbal Moscoso  
Farias  
Fecha: 22/12/2025  
17:08:12 CLST



Firmado por: Valentina  
Alejandra Durán  
Medina  
Fecha: 22/12/2025  
17:24:08 CLST



## METODOLOGÍA / MODELO

# GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN Y REPORTE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA





## GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN Y REPORTE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA

**Autor:** Servicio de Evaluación Ambiental

**Primera Edición**

**Diseño y diagramación:** Servicio de Evaluación Ambiental

**Santiago, diciembre 2025**

Como citar este documento: Servicio de Evaluación Ambiental, 2025. *Guía metodológica para la estimación y reporte de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta.*  
Primera edición. Santiago, Chile.

Si desea presentar alguna consulta, comentario o sugerencia respecto del documento, por favor escribir al siguiente correo [comentarios.documentos@sea.gob.cl](mailto:comentarios.documentos@sea.gob.cl)



# GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN Y REPORTE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA



La primera edición de la **Guía metodológica para la estimación y reporte de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta** ha sido elaborada por la División de Evaluación Ambiental y Participación Ciudadana, con la colaboración de la División Jurídica, el Departamento de Comunicaciones y las direcciones regionales del Servicio de Evaluación Ambiental.

Agradecemos al Ministerio del Medio Ambiente, en especial a sus Divisiones de Calidad del Aire, de Cambio Climático y a su Oficina de Evaluación Ambiental por sus valiosos aportes, así como a la Superintendencia del Medio Ambiente.

## PRESENTACIÓN

Actualmente, el mundo se encuentra enfrentando una triple crisis ambiental: el cambio climático, el aumento de la contaminación y la pérdida de biodiversidad. Si bien, cada una de estas crisis tiene sus propias causas, sus efectos se interrelacionan, amenazando tanto a los ecosistemas como a la salud y calidad de vida de las personas. Ante esta realidad, el 8 de octubre de 2021, el Consejo de Derechos Humanos de Naciones Unidas reconoció "el derecho a vivir en un medio ambiente limpio, saludable y sostenible", reforzando aquel pronunciamiento el 28 de julio de 2022, a través de la Asamblea General de las Naciones Unidas, donde se reconoció por primera vez el "derecho humano a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible".

La realidad actual configura un gran desafío para la gestión ambiental a escala global y local, y en particular, para países tan vulnerables al cambio climático como lo es Chile. Este desafío interpela al Estado a actuar con un sentido de urgencia<sup>1</sup>, considerando el grave riesgo que el cambio climático representa, e implementar medidas para revertir los efectos más graves considerando el escaso margen de tiempo disponible.

Bajo este escenario y durante la presente administración (2022-2026), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) estableció como objetivo estratégico institucional la incorporación de la variable de cambio climático, siendo uno de los primeros pasos de esta decisión la publicación de la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA", que actualmente se encuentra vigente en su tercera edición. Durante el año 2023 se publicó el segundo documento que persigue este objetivo estratégico: "Criterio de evaluación en el SEIA: Cambio climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico". Además, el mismo año se realizaron más de 30 capacitaciones a evaluadores/as de las Direcciones Regionales del SEA, titulares, consultores, ciudadanía y profesionales de los Órganos del Estado con Competencia Ambiental (OAECA), entre otras acciones, para facilitar la incorporación de esta variable en la evaluación de impacto ambiental por parte de los distintos actores del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Otro hito destacable dentro de este objetivo es la dictación del curso "Consideración del cambio climático en el SEIA", disponible desde marzo del 2025 a través de la plataforma Academia SEA<sup>2</sup>.

En cuanto a los aspectos normativos, cabe señalar que durante febrero de 2024 se publicó el Decreto Supremo 30, del Ministerio del Medio Ambiente, que modifica al Reglamento del SEIA<sup>3</sup> e incorpora la variable del cambio climático en el procedimiento de evaluación ambiental, indicando como contenido mínimo de las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Estudios de Impacto Ambiental (EIA) la estimación de emisiones, "**includiendo las de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta**".

---

<sup>1</sup> "La actuación del Estado debe considerar el grave riesgo que el cambio climático conlleva para las personas y los ecosistemas (...)" . En referencia al artículo 2º de la Ley 21.455 o Ley Marco de Cambio Climático.

<sup>2</sup> Plataforma de aprendizaje, gratuita y *online*, desarrollada por el SEA para la ciudadanía. Disponible en el sitio web, <https://academia.sea.gob.cl/>

<sup>3</sup> Decreto Supremo 40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente.

Bajo esta modificación reglamentaria surge la necesidad de estandarizar una metodología de estimación de las emisiones atmosféricas de **gases de efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos de vida corta (FCVC o SLCF<sup>4</sup>, de manera indistinta)**, contaminantes generados principalmente por procesos de combustión de combustibles fósiles, siendo estas fuentes de emisión comunes para las diferentes tipologías de proyectos o actividades que deben someterse al SEIA, independiente de la fase. De esta manera, la presente Guía permite uniformar criterios sobre la elección de los factores de emisión y el cálculo de los niveles de actividad de las fuentes de combustión más comunes que generan este tipo de gases y forzantes, además de la recopilación de factores para ciertas industrias priorizadas, lo que permite tanto uniformar la información y el actuar esperado de titulares de proyectos y actividades, como simplificar la evaluación ambiental.

Dicho lo anterior, es necesario señalar que según lo establecido en el artículo 81, letra d), de la Ley 19.300, el SEA tiene la facultad para uniformar criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los ministerios y demás organismos del Estado competentes. Así, el contenido de esta Guía debe ser observado durante el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, y es responsabilidad de los titulares de proyectos o actividades que se sometan al SEIA entregar toda la información esencial y relevante según las características propias de sus iniciativas para la estimación de las emisiones de GEI y FCVC.

Se hace presente que la observancia, aplicación y vigencia de esta guía se rige por el **Ordinario 202499102679, del 30 de julio 2024, que deja sin efecto y complementa instrucciones sobre la aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental<sup>5</sup>**. Conforme a dicho instructivo, y sin perjuicio de su publicación previa en el sitio web del SEA, la presente guía entrará en vigencia a partir de la publicación del extracto de su resolución de observancia en el Diario Oficial, debiendo ser observada por aquellos proyectos o actividades que se sometan al SEIA a contar de esa fecha. No obstante, aquellos proyectos o actividades que se encuentren en evaluación o cuyo ingreso al SEIA se haya verificado en el período inmediatamente previo a la entrada en vigencia de esta Guía, podrán, si lo estiman conveniente, ceñirse a este criterio de evaluación de manera voluntaria.

Finalmente, este texto debe entenderse como complementario a otras guías y documentos técnicos, tanto metodológicos como de criterios, que se encuentran publicados por el SEA en su Centro de Documentación, y los que se publiquen en el futuro. Así también, **para efectos de una mejora continua, esta Guía puede ser objeto de revisión y actualización**, considerando los avances en los ámbitos de las metodologías de estimación, o bien, de nuevas normativas aplicables, incluyendo otras fuentes de emisión que no han sido consideradas para esta edición.

**Dirección Ejecutiva  
Servicio de Evaluación Ambiental**

---

**4** Por sus siglas en inglés; *Short-lived climate forcer (SLCF)*.

**5** Para más detalle, véase instructivo en el Centro de Documentación del sitio web del SEA, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

## RESUMEN

La "Guía metodológica para la estimación y reporte de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Forzantes Climáticos de Vida Corta (FCVC)", se enmarca en la actualización del Reglamento del SEIA publicada bajo el Decreto Supremo 30, del año 2023, del Ministerio del Medio Ambiente, que incorpora la obligación de estimar las emisiones de GEI y FCVC como contenido mínimo en Declaraciones y Estudios de Impacto Ambiental, así como de indicar las formas de abatimiento y control contempladas. Esta exigencia responde a la Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455) y a compromisos internacionales como el Acuerdo de París.

La Guía uniforma criterios y metodologías para estimar emisiones de estos gases y forzantes, además de otros contaminantes, de los proyectos o actividades que sean sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), principalmente en aquellas provenientes de fuentes de combustión (estacionaria y móvil) y de procesos industriales, utilizando factores de emisión validados por órganos internacionales competentes (IPCC, EMEP/EEA, EPA). El reporte de emisiones debe expresarse en toneladas por año por cada fase del proyecto y para el caso de los GEI se recomienda presentar también en CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub> eq.), utilizando los Potenciales de Calentamiento Global del IPCC.

Este documento presenta la metodología caracterizando las fuentes de emisión en:

- **Combustión estacionaria:** grupos electrógenos, calderas, entre otros.
- **Combustión móvil:** vehículos y maquinaria fuera de ruta.
- **Procesos industriales:** producción de metanol, amoníaco, cemento, cal, vidrio, ácido nítrico, etileno, hierro y acero.
- **Uso de productos:** SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos.
- **Emisiones fugitivas:** tronaduras, demolición, movimientos de tierra, tránsito vehicular, procesamiento de roca, entre otros.

A su vez, cabe hacer presente que esta edición no considera metodologías ni factores de emisión para las siguientes fuentes:

- Equipos de refrigeración y otros usos de gases fluorados.
- Emisiones por crianza y engorda de bovinos, porcinos, ovinos, caprinos y aves.
- Emisiones de rellenos sanitarios.
- Artefactos a leña o *pellets* de madera.
- Metodología para el balance de emisiones de sumideros naturales.

Por último, este documento incorpora una sección que explica cómo presentar la información relativa a las formas de abatimiento y control de emisiones atmosféricas, conforme a las exigencias de la modificación reglamentaria, además de cómo cuantificar los porcentajes de abatimiento de las acciones más comunes, como la humectación de caminos, el uso de supresores químicos, entre otros.

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

### INSTITUCIONES Y ABREVIATURAS

<b>BNE</b>	: Balance Nacional de Energía
<b>CAV</b>	: Compromisos Ambientales Voluntarios
<b>CLA</b>	: Capa Límite Atmosférica
<b>CMNUCC</b>	: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>CO<sub>2</sub> eq.</b>	: Emisiones de dióxido de carbono equivalentes
<b>DIA</b>	: Declaración(es) de Impacto Ambiental
<b>ECC</b>	: Efectos, características o circunstancias
<b>EIA</b>	: Estudio(s) de Impacto Ambiental
<b>EEA<sup>6</sup></b>	: Agencia Europea de Medio Ambiente
<b>EMEP<sup>7</sup></b>	: Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación
<b>EPA<sup>8</sup></b>	: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
<b>FE</b>	: Factores de emisión
<b>GE</b>	: Grupo electrógeno
<b>GEI</b>	: Gas(es) de Efecto Invernadero
<b>GLP</b>	: Gas Licuado de Petróleo
<b>IGCC</b>	: Instrumento(s) de Gestión del Cambio Climático
<b>INGEI</b>	: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile
<b>IPCC<sup>9</sup></b>	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<b>MFR</b>	: Maquinaria fuera de ruta
<b>MMA</b>	: Ministerio del Medio Ambiente
<b>NA</b>	: Niveles o datos de actividad
<b>NDC<sup>10</sup></b>	: Contribución Determinada a Nivel Nacional
<b>OAeca</b>	: Órgano(s) de la Administración del Estado con Competencia Ambiental
<b>OP</b>	: Objeto de Protección
<b>PCA</b>	: Potencial de Calentamiento Atmosférico

<sup>6</sup> Por sus siglas en inglés; *European Environment Agency*.

<sup>7</sup> Por sus siglas en inglés; *European Monitoring and Evaluation Programme*.

<sup>8</sup> Por sus siglas en inglés; *Environmental Protection Agency*.

<sup>9</sup> Por sus siglas en inglés; *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

<sup>10</sup> Por sus siglas en inglés: *Nationally Determined Contribution*.

<b>PCE</b>	: Plan de Compensación de Emisiones
<b>PCG</b>	: Potencial de Calentamiento Global
<b>PPDA</b>	: Plan(es) de Prevención y Descontaminación Atmosférica
<b>RCA</b>	: Resolución(es) de Calificación Ambiental
<b>SEA</b>	: Servicio de Evaluación Ambiental
<b>SEIA</b>	: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
<b>SLCF<sup>11</sup> o FCVC</b>	: Forzante(s) Climático(s) de Vida Corta
<b>SMA</b>	: Superintendencia del Medio Ambiente

## CONTAMINANTES

<b>BC</b>	: Carbono negro, o en inglés <i>Black Carbon</i>
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metano
<b>CO</b>	: Monóxido de carbono
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de carbono
<b>COV</b>	: Compuestos orgánicos volátiles
<b>COVDM</b>	: Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano
<b>HFC</b>	: Hidrofluorocarbonos
<b>MP10</b>	: Material particulado respirable menor a 10 micras o micrómetros
<b>MP2,5</b>	: Material particulado fino respirable menor a 2,5 micras o micrómetros
<b>NF<sub>3</sub></b>	: Trifluoruro de nitrógeno
<b>NH<sub>3</sub></b>	: Amoniaco o gas amonio
<b>NO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de nitrógeno
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Óxidos de nitrógeno
<b>N<sub>2</sub>O</b>	: Óxido nitroso
<b>O<sub>3</sub></b>	: Ozono
<b>PFC</b>	: Perfluorocarbonos
<b>SF<sub>6</sub></b>	: Hexafluoruro de azufre
<b>SO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de azufre
<b>SO<sub>x</sub></b>	: Óxidos de azufre

<sup>11</sup> Por sus siglas en inglés; *Short-lived climate forcer*.

## UNIDADES DE MEDIDA Y POTENCIA

<b>g</b>	: gramo
<b>kg</b>	: kilogramo
<b>ton</b>	: tonelada métrica, equivalente a mil kilogramos
<b>m</b>	: metro
<b>mm</b>	: milímetros
<b>km</b>	: kilómetros
<b>m<sup>2</sup></b>	: metros cuadrados
<b>ha</b>	: hectárea, equivalente a 10.000 m <sup>2</sup>
<b>l</b>	: litros
<b>m<sup>3</sup></b>	: metros cúbicos
<b>cal</b>	: calorías
<b>J</b>	: Joules
<b>V</b>	: Volt
<b>kV</b>	: kiloVolt
<b>W</b>	: Watt o vatio
<b>kW</b>	: kiloWatt o kilovatio
<b>kWh</b>	: kiloWatt-hora o kilovatio-hora
<b>HP</b>	: Horsepower, o "caballos de fuerza" en español

## PREFIJOS Y FACTORES DE MULTIPLICACIÓN

Prefijo	Símbolo	Factor de multiplicación	Abreviatura
<b>tera</b>	T	1.000.000.000.000	10 <sup>12</sup>
<b>giga</b>	G	1.000.000.000	10 <sup>9</sup>
<b>mega</b>	M	1.000.000	10 <sup>6</sup>
<b>kilo</b>	k	1.000	10 <sup>3</sup>
<b>deci</b>	d	0,1	10 <sup>-1</sup>
<b>centi</b>	c	0,01	10 <sup>-2</sup>
<b>milí</b>	m	0,001	10 <sup>-3</sup>
<b>micro</b>	μ	0,000001	10 <sup>-6</sup>

## FORMATO

<b>,</b>	: separador decimal
<b>.</b>	: separador de miles



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>19</b>
1.1 Antecedentes del cambio climático .....	19
1.2 Emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta .....	20
1.3 Objetivos y alcances de la Guía .....	26
<b>2. INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....</b>	<b>28</b>
2.1 Inventarios de gases de efecto invernadero.....	29
2.2 Inventarios de forzantes climáticos de vida corta .....	31
2.3 Metodologías de estimación de emisiones atmosféricas.....	33
2.4 Reporte de las emisiones atmosféricas.....	34
<b>3. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....</b>	<b>37</b>
3.1 Combustión estacionaria .....	37
3.2 Combustión móvil .....	44
3.2.1 Combustión interna de vehículos.....	44
3.2.2 Maquinaria fuera de ruta .....	50
3.3 Procesos industriales y uso de productos .....	55
3.3.1 Procesos industriales .....	56
3.3.1.1 Producción de metanol.....	56
3.3.1.2 Producción de amoniaco .....	57
3.3.1.3 Producción de cemento .....	59
3.3.1.4 Producción de cal.....	60
3.3.1.5 Producción de vidrio .....	60
3.3.1.6 Producción de ácido nítrico .....	61
3.3.1.7 Producción de etileno .....	62
3.3.1.8 Producción de hierro y acero.....	62
3.3.2 Uso de producto.....	63
3.3.2.1 Uso de SF <sub>6</sub> en equipos eléctricos .....	63
3.3.2.2 Uso de N <sub>2</sub> O .....	65
<b>4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA.....</b>	<b>67</b>
4.1 Combustión estacionaria .....	67
4.1.1 Grupos electrógenos .....	68
4.1.2 Calderas .....	69
4.1.3 Otros procesos .....	71

<b>4.2 Combustión móvil .....</b>	<b>71</b>
4.2.1 Combustión interna de vehículos.....	71
4.2.2 Maquinaria fuera de ruta .....	74
<b>4.3 Procesos industriales y uso de productos .....</b>	<b>79</b>
4.3.1 Procesos industriales .....	79
4.3.1.1 Producción de cemento .....	79
4.3.1.2 Producción de ácido nítrico .....	79
4.3.1.3 Producción de hierro y acero .....	80
4.3.2 Uso de productos.....	81
4.3.2.1 Uso de SF <sub>6</sub> en equipos eléctricos .....	81
<b>4.4 Emisiones fugitivas .....</b>	<b>82</b>
4.4.1 Tronaduras.....	82
4.4.2 Demolición .....	83
4.4.3 Movimientos de tierra .....	86
4.4.3.1 Perforación .....	86
4.4.3.2 Escarpe.....	86
4.4.3.3 Excavación.....	87
4.4.3.4 Erosión de material en pila .....	89
4.4.3.5 Carguío y volteo de material.....	90
4.4.3.6 Compactación .....	91
4.4.3.7 Nivelación .....	92
4.4.4 Resuspensión por tránsito de vehículos .....	93
4.4.4.1 Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados .....	93
4.4.4.2 Tránsito de vehículos por caminos pavimentados .....	96
4.4.4.3 Cálculo del número de viajes .....	98
4.4.5 Procesamiento de roca chancada y mineral pulverizado .....	99
<b>5. FORMAS DE ABATIMIENTO Y CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....</b>	<b>102</b>
<b>5.1 Emisiones de material particulado en caminos no pavimentados .....</b>	<b>103</b>
5.1.1 Supresión a partir de humectación .....	103
5.1.2 Supresión a partir de agentes químicos.....	106
<b>5.2 Emisiones de material particulado en el procesamiento de áridos y chancado de rocas.</b>	<b>108</b>
<b>5.3 Emisiones de metano y de compuestos orgánicos volátiles en rellenos sanitarios.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 1. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 2. FORMATO REPORTE DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Potenciales de calentamiento atmosférico para diferentes gases de efecto invernadero .....	30
<b>Tabla 2.</b> Categorías y subcategorías para la estimación de emisiones los respectivos GEI y FCVC.....	35
<b>Tabla 3.</b> Parámetros para la conversión de unidades según los combustibles que comúnmente se utilizan en Chile .....	39
<b>Tabla 4.</b> Factores de emisión para los diferentes combustibles utilizados en aplicaciones estacionarias .....	42
<b>Tabla 5.</b> Rendimientos para diferentes tipos de vehículos según algunas categorías del parque vehicular .....	44
<b>Tabla 6.</b> Factor de combustible petróleo diésel en función de la potencia para maquinarias fuera de ruta .....	52
<b>Tabla 7.</b> Parámetros para la estimación del factor de ajuste transiente (TAF) según factor de carga (adimensional) .....	53
<b>Tabla 8.</b> Factores de emisión de GEI para producción de metanol según proceso de producción "reformado convencional".....	57
<b>Tabla 9.</b> Factores de emisión de GEI para la producción de amoníaco según proceso de producción de reformado .....	59
<b>Tabla 10.</b> Factores de emisión de GEI para producción de cemento.....	59
<b>Tabla 11.</b> Factores de emisión de GEI para producción de cal.....	60
<b>Tabla 12.</b> Factores de emisión de GEI para producción de vidrio .....	60
<b>Tabla 13.</b> Factores de emisión de GEI para producción de ácido nítrico según proceso de producción..	61
<b>Tabla 14.</b> Factores de emisión de GEI para producción de etileno.....	62
<b>Tabla 15.</b> Factores de emisión de GEI para producción de hierro y acero por tipo de proceso productivo.....	63
<b>Tabla 16.</b> Factor de emisión de SF6 según tensión de los equipos.....	64
<b>Tabla 17.</b> Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes del uso de grupos electrógenos.....	68
<b>Tabla 18.</b> Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes del uso de calderas .....	70
<b>Tabla 19.</b> Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes de otros procesos .....	71
<b>Tabla 20.</b> Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes la combustión interna de vehículos .....	72

<b>Tabla 21.</b> Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes de la maquinaria fuera de ruta que utilizan diésel como combustible.....	75
<b>Tabla 22.</b> Años de vida útil (VU) para distintos tipos de maquinarias a diésel .....	77
<b>Tabla 23.</b> Factores de deterioro relativo a la vida útil ( $FD_{VU}$ ) para maquinarias diésel (adimensional) .....	78
<b>Tabla 24.</b> Parámetros por FCVC para la estimación del factor de ajuste transiente (TAF) según factor de carga (adimensional) .....	78
<b>Tabla 25.</b> Factores de emisión de FCVC para producción de cemento.....	79
<b>Tabla 26.</b> Factores de emisión de FCVC para producción de ácido nítrico .....	80
<b>Tabla 27.</b> Factores de emisión de FCVC para producción de hierro y acero .....	80
<b>Tabla 28.</b> Factores de emisión de FCVC para uso de $SF_6$ en equipos eléctricos .....	81
<b>Tabla 29.</b> Factores de emisión y escalado para tronadura por contaminante .....	83
<b>Tabla 30.</b> Factores de emisión por tipo de demolición .....	84
<b>Tabla 31.</b> Abatimiento de emisiones de material particulado según tipo de demolición .....	84
<b>Tabla 32.</b> Índice de Thornthwaite según tipo de clima .....	85
<b>Tabla 33.</b> Factores de emisión para perforación por tipo de contaminante .....	86
<b>Tabla 34.</b> Factores de emisión para escarpe por tipo de contaminante .....	86
<b>Tabla 35.</b> Factores de emisión para excavación por tipo de contaminante .....	87
<b>Tabla 36.</b> Parámetros para el cálculo del nivel de actividad en excavación .....	88
<b>Tabla 37.</b> Factores de emisión para erosión de material en pila por tipo de contaminante.....	89
<b>Tabla 38.</b> Factores de emisión para carguío y volteo de material por tipo de contaminante .....	90
<b>Tabla 39.</b> Factores de emisión para compactación por tipo de contaminante .....	91
<b>Tabla 40.</b> Factores de emisión para nivelación por tipo de contaminante .....	92
<b>Tabla 41.</b> Factor de emisión para tránsito de vehículos, por tipo camino y tipo de contaminante .....	94
<b>Tabla 42.</b> Factores de emisión para tránsito de vehículos por vías pavimentadas por tipo de contaminante .....	96
<b>Tabla 43.</b> Valores por defecto para carga superficial de finos según flujo de vehículos en determinado camino pavimentado .....	97
<b>Tabla 44.</b> Ejemplo de tabulación por rutas .....	98
<b>Tabla 45.</b> Ejemplo de tabulación para reporte de flota de vehículos .....	99
<b>Tabla 46.</b> Ejemplo de tabulación para reporte de cantidad de viajes según materiales y residuos transportados .....	99

<b>Tabla 47.</b> Factores de emisión para el procesamiento de roca chancada, mineral pulverizado y áridos . . .	100
<b>Tabla 48.</b> Ejemplo de llenado del Plan de Seguimiento de la acción de humectación de caminos no pavimentados . . . . .	104
<b>Tabla 49.</b> Dosis y eficiencia de abatimiento estándar de distintos supresores de polvo . . . . .	107
<b>Tabla 50.</b> Eficiencia estándar por uso de atomizador de agua en distintas unidades del procesamiento de rocha chancada y áridos . . . . .	109
<b>Tabla 51.</b> Eficiencia estándar de captura o recolección del biogás en rellenos sanitarios . . . . .	111
<b>Tabla 52.</b> Eficiencia estándar de ciertos sistemas de tratamiento de emisiones de metano y de COV desde rellenos sanitarios . . . . .	112

# ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Ecuación general para la estimación de emisiones atmosféricas . . . . .	33
<b>Ecuación 2.</b> Metodología de estimación de emisiones de GEI para la combustión estacionaria . . . . .	38
<b>Ecuación 3.</b> Metodología generalizada de estimación de emisiones en términos de CO <sub>2</sub> eq., combustión estacionaria. . . . .	38
<b>Ecuación 4.</b> Estimación de emisiones de GEI para las MFR . . . . .	50
<b>Ecuación 5.</b> Estimación del nivel de actividad o consumo de combustible para las MFR . . . . .	51
<b>Ecuación 6.</b> Reformado al vapor . . . . .	56
<b>Ecuación 7.</b> Producción de metanol . . . . .	56
<b>Ecuación 8.</b> Reacción de desplazamiento . . . . .	56
<b>Ecuación 9.</b> Síntesis del amoniaco . . . . .	57
<b>Ecuación 10.</b> Metodología para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes de la producción de amoniaco . . . . .	58
<b>Ecuación 11.</b> Metodología para el cálculo de datos de actividad para la producción de vidrio con reciclaje . . . . .	61
<b>Ecuación 12.</b> Metodología de estimación de emisiones de FCVC para fuentes estacionarias . . . . .	67
<b>Ecuación 13.</b> Metodología de estimación de emisiones de FCVC provenientes de las MFR . . . . .	74
<b>Ecuación 14.</b> Metodología de cálculo para el factor de deterioro . . . . .	77
<b>Ecuación 15.</b> Metodología de estimación de emisiones material particulado provenientes de la tronadura . . . . .	82
<b>Ecuación 16.</b> Metodología de estimación de emisiones material particulado provenientes de la demolición . . . . .	83
<b>Ecuación 17.</b> Metodología para la estimación del índice de evapotranspiración de Thornthwaite . . . . .	85
<b>Ecuación 18.</b> Metodología de estimación de los datos de actividad sobre las horas de compactación .	92
<b>Ecuación 19.</b> Metodología de estimación de datos de actividad para los kilómetros de nivelación . . . . .	93
<b>Ecuación 20.</b> Metodología de estimación de peso promedio de la flota considerada por el proyecto. . . . .	94
<b>Ecuación 21.</b> Metodología para el cálculo del factor de corrección por lluvia . . . . .	95
<b>Ecuación 22.</b> Metodología para el cálculo del factor de corrección por lluvia . . . . .	97
<b>Ecuación 23.</b> Metodología para el cálculo del porcentaje de abatimiento por humectación de caminos no pavimentados . . . . .	103

1.

# 1.

## INTRODUCCIÓN



# 1. INTRODUCCIÓN

1.

## 1.1 Antecedentes del cambio climático

A partir de la evidencia y consenso mayoritario de actores e instituciones científicas de diversos continentes, se ha establecido que el cambio climático es un fenómeno indiscutible causado por la acción humana, que debe ser abordado de manera urgente, mediante un esfuerzo global para evitar la agudización de sus consecuencias. Así lo establece el VI Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021a), cuando afirma que “[...] es inequívoca la influencia humana en el calentamiento de la atmósfera, océanos y tierra [...]” y que “[...] el cambio climático ya está afectando a todas las regiones habitadas del mundo, donde la influencia humana contribuye a muchos cambios observados en los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos [...]” (IPCC, 2021b).

Los efectos sobre los ecosistemas, biodiversidad y las comunidades humanas debido a las crecientes concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera comenzaron a ser una preocupación internacional desde hace varias décadas, adoptándose, en el año 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), ratificada por Chile, cuyo objetivo es “[...] la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”<sup>12</sup>.

Si bien Chile presenta un bajo nivel de emisiones de GEI comparado con las emisiones a nivel mundial, el cambio de paradigma que se ha generado en los últimos veinte años, desde el Protocolo de Kioto (1998) hasta el Acuerdo de París (2015), ha sido transitar hacia una respuesta mundial ante la amenaza del cambio climático para la consecución de las metas de mitigación y adaptación, con base en el principio de equidad y de responsabilidades comunes pero diferenciadas<sup>13</sup>, a la luz de las circunstancias de cada país. En este sentido, el 20 de septiembre de 2016, Chile ratifica el acuerdo de París<sup>14</sup>, adoptado en la vigésimo primera reunión de la CMNUCC, el cual tiene por objetivo “[...] reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible [...]”, comprometiendo una respuesta rápida y eficaz a los efectos del cambio climático.

<sup>12</sup> Ref. artículo 2º de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

<sup>13</sup> Ref. artículo 2º del Acuerdo de París (2015) de la CMNUCC.

<sup>14</sup> Ref. artículo 2º del Decreto 30, de 2017, del Ministerio de Relaciones Exteriores, que Promulga el Acuerdo de París, adoptado en la vigésimo primera reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Así, con fecha 13 de junio de 2022, se publicó en Chile la Ley 21.455 o Ley Marco de Cambio Climático, que tiene por objetivo “[...] hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, **transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero [...]”** (énfasis agregado). Esta Ley establece la institucionalidad y los instrumentos de gestión para enfrentar el cambio climático, además, manda la consideración de la variable de cambio climático en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), conforme lo disponga el reglamento respectivo.

En este contexto, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) dictó el Decreto Supremo 30, de 2023, a través del cual se modificó el Decreto Supremo 40, del año 2012, del mismo Ministerio, que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Reglamento del SEIA). Dicha modificación - que entró en vigencia el primero de febrero de 2024 - definió los lineamientos de incorporación de la variable cambio climático en el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, especificando en sus artículos 18 y 19 **como contenido mínimo de los proyectos o actividades que se sometan al SEIA, que los estudios y declaraciones de impacto ambiental deben contener “las emisiones, incluyendo las de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta, del proyecto o actividad y las formas de abatimiento y control contempladas”**, obligación que motiva la publicación de la presente guía.

El uso e implementación de este documento conforma, además, una oportunidad de mejora al inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile (INGEI), al ser una nueva fuente de información confiable que puede integrarse al plan de mejoramiento continuo como un nuevo método de verificación. Además, la metodología planteada en esta Guía es referenciada directamente de la utilizada en el programa Huella Chile, por lo cual su utilización podría servir de base para una potencial certificación voluntaria de gases de efecto invernadero<sup>15</sup> de las iniciativas evaluadas en el SEIA, de manera posterior a la obtención de la respectiva Resolución de Calificación Ambiental (RCA) favorable.

## 1.2 Emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta

La calidad del aire está estrechamente ligada con el clima<sup>16</sup> y las características ecológicas, sociales y económicas de un área o zona biogeográfica específica. Muchas de las fuentes antrópicas de emisión que generan contaminación del aire también son fuentes de GEI y FCVC, por ejemplo, la combustión de vehículos o maquinarias que utilizan combustibles fósiles, el uso de equipos industriales, grupos electrógenos, entre otras.

<sup>15</sup> Ref. artículo 30 de la Ley 21.455 o Ley Marco de Cambio Climático.

<sup>16</sup> Condiciones meteorológicas normales correspondientes a un espacio geográfico y periodo determinado, explicada mediante las descripciones estadísticas de las tendencias y variabilidad de los elementos pertinentes, como precipitaciones, temperaturas, entre otros. El periodo indicado corresponde, al menos, en décadas de estudios, siendo característicos de lugares, regiones o del mundo en su conjunto para los periodos estudiados. Referencia con base en las definiciones de la Organización Mundial de la Meteorología (OMM), en su sitio web, <https://wmo.int/topics/climate>

Cualquier elemento, sustancia o compuesto emitido que altere sustancialmente la composición y variabilidad natural de la atmósfera<sup>17</sup> en cualquiera de sus capas, especialmente la troposfera y estratosfera, contribuye a modificar las condiciones de salud y calidad de vida de la población humana, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. La atmósfera es una de las componentes principales del sistema climático, que incluye también la hidrósfera, criósfera, litósfera y biosfera. Este sistema es influenciado por forzamientos radiativos<sup>18</sup> externos, como erupciones volcánicas o variaciones solares, y por forzamientos radiativos antropógenos, como el cambio de la composición de la atmósfera por emisión de GEI y FCVC o el cambio de uso de la tierra o suelo (IPCC, 2018: Anexo I).

Tal como se aprecia en la Figura 1, las emisiones antropogénicas de GEI tienen efectos en el sistema climático, alterando los balances naturales e interactuando en distintos procesos a escalas planetarias debido, entre otros factores, a su vida media<sup>19</sup>. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que es uno de los GEI más representativos, tiene una vida media relativa<sup>20</sup> de décadas a cientos de años en la atmósfera, donde aproximadamente más del 60% de estas moléculas tendrán una vida igual o inferior a 100 años, mientras que alrededor de un 25% tendrá una vida de más de 1.000 años (CCAC, 2014).

Si bien la concentración de un compuesto (aerosol o gas) es el resultado final de la suma de las fuentes (emisiones) y sumideros (remociones) en la atmósfera, esta dependerá, además, de las características propias del aerosol o gas y sus interrelaciones con la atmósfera misma (circulación atmosférica). Los GEI, en general, poseen un tiempo de residencia que varía entre décadas a más de un siglo, lo que está condicionado por múltiples factores, determinando el potencial que estos tienen para impactar el aumento de temperatura del planeta.

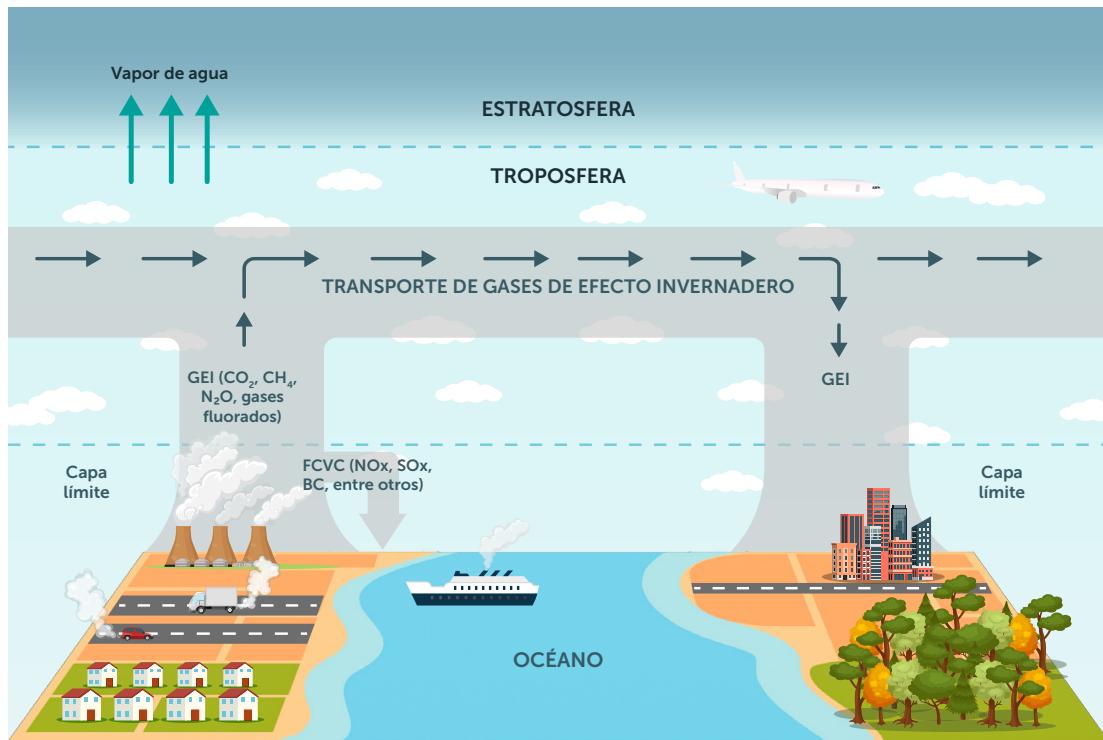
---

<sup>17</sup> "Envoltura gaseosa que rodea la Tierra, dividida en cinco capas: la troposfera, que contiene más de la mitad de la atmósfera terrestre, la estratosfera, la mesosfera, la termosfera y la exosfera, límite superior de la atmósfera. Compuesta casi enteramente por nitrógeno (coeficiente de mezclado volumétrico: 78,1%) y oxígeno (20,9%), además de varios gases traza, como el argón (0,93%), el helio y gases de efecto invernadero (GEI) radiativamente activos, como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (0,04%) o el ozono estratosférico ( $\text{O}_3$ ). Además, la atmósfera contiene vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), que es también un GEI, en un 1%". Definición elaborada con base en IPCC, 2018: Anexo I.

<sup>18</sup> "Forzamiento radiativo: variación, expresada en  $\text{W}/\text{m}^2$ , del flujo radiativo neto (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debido a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o de la radiación solar". Mientras que, "radiativo" se refiere a la cantidad de energía que puede emitir un elemento, compuesto o sustancia mediante radiación electromagnética o partículas radiactivas, como es el caso de la energía que aporta el Sol a la Tierra o la energía que emiten los GEI al absorber la radiación. Definición e interpretación con base en IPCC, 2018: Anexo I.

<sup>19</sup> "Gases químicamente estables y persistentes en la atmósfera durante escalas de tiempo desde décadas hasta siglos o más, de modo que sus emisiones ejercen su influencia en el clima a largo plazo". Definición con base en IPCC, 2018: Anexo I.

<sup>20</sup> Período relativo debido a los procesos en los cuales está involucrado de manera natural, como el ciclo del carbono. Ref. elaboración propia.

**Figura 1. Alcance espacial de las emisiones de GEI y FCVC**

Fuente: elaboración propia

El alcance espacial y temporal de los GEI motivó a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) a plantear metas comunes a nivel mundial respecto a su estabilización. Bajo la Vigésimo Primera Reunión de la Conferencia de las Partes de la CMNUCC, del 12 de diciembre de 2015, se adoptó el Acuerdo de París, firmado por Chile el 20 de septiembre de 2016, el cual tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático. A su vez, en el año 2022 el Estado de Chile publicó la Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455) que articula los distintos instrumentos de gestión del cambio climático (IGCC)<sup>21</sup> con el objeto de "hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, **transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero** y otros forzantes climáticos, hasta alcanzar y **mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050**, adaptarse al cambio climático (...) y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia" (énfasis agregado).

Bajo estos antecedentes, es claro indicar que las emisiones antropogénicas de GEI y, por ende, los efectos globales de estos contaminantes son responsabilidades que escapan del marco normativo del SEIA, y responden a los compromisos internacionales y política públicas del Estado de Chile para hacer frente a la amenaza latente del cambio climático.

<sup>21</sup> Entre estos las futuras normas de emisión de GEI y FCVC, que al momento de publicación de esta Guía aún no han sido promulgadas.

Por lo tanto, los titulares de proyectos o actividades que sometan sus iniciativas al SEIA **solo deben estimar las emisiones atmosféricas de GEI**, tal como indica la actualización del Reglamento del SEIA, publicada bajo el Decreto 30, de 2023, del Ministerio del Medio Ambiente, **y no evaluar sus impactos ambientales globales**. Lo anterior, no impide que los titulares puedan presentar compromisos ambientales voluntarios (CAV) relacionados a la mitigación<sup>22</sup> de estos gases, lo que favorece la meta a nivel país de adaptación, resiliencia y carbono neutralidad al 2050.

Además, estas emisiones estarán sujetas, en un futuro, al cumplimiento normativo de los límites que establezcan las normas de emisión correspondientes, previstas en la Ley Marco de Cambio Climático, en función de los objetivos de la Estrategia Climática de Largo Plazo y la Contribución Determinada a Nivel Nacional<sup>23</sup>.

Los forzantes climáticos de vida corta (FCVC) se diferencian de los GEI dado que corresponden a gases o partículas<sup>24</sup> que tienen una “vida corta” en la troposfera, correspondiente a la capa de la atmósfera más próxima a la superficie terrestre y en donde ocurren los principales intercambios de compuestos entre el sistema tierra-atmósfera (véase Figura 1). La definición de “vida corta” refiere a que estos compuestos tienen una vida media en la atmósfera que se estima en horas o hasta décadas, siempre en un rango inferior a la vida media del dióxido de carbono. Esta “corta” duración en la atmósfera, se debe, principalmente, a que son compuestos o elementos químicamente reactivos y que se eliminan, por lo general, mediante procesos naturales de oxidación en la atmósfera, ya sea en la superficie terrestre o por deposición húmeda (precipitaciones).

<sup>22</sup> Esta “mitigación” debe ser entendida como aquella que define la Ley 21.455, es decir, como la “acción, medida o proceso orientado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, o restringir el uso de dichos gases como refrigerantes, aislantes o en procesos industriales, entre otros, o a incrementar, evitar el deterioro o mejorar el estado de los sumideros de dichos gases, con el fin de limitar los efectos adversos del cambio climático”. Por lo que no se debe confundir con las medidas de mitigación definidas en el artículo 98 del Reglamento del SEIA.

<sup>23</sup> Según establece el artículo 14 de la Ley 21.455 o Ley Marco de Cambio Climático.

<sup>24</sup> En forma de aerosoles. Un aerosol es una: “suspensión de partículas sólidas o líquidas transportadas por el aire, que normalmente tienen un tamaño que varía entre unos pocos nanómetros (nm) a uno 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), y que permanecen en la atmósfera durante varias horas o incluso semanas”. Definición con base en IPCC, 2018: Anexo I.

Debido a esta condición de “vida corta” es que estos forzantes afectan a extensiones acotadas especialmente en la capa más cercana al suelo denominada capa límite atmosférica<sup>25</sup> (CLA), en donde se dan los principales procesos de emisión, generación, transformación, acumulación, dispersión y eliminación de los contaminantes atmosféricos de tipo antropogénicos.

Uno de estos casos es la generación secundaria de ozono ( $O_3$ ) troposférico debido, en términos generales, a reacciones fotoquímicas en la CLA entre las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), ambos contaminantes principalmente antropogénicos, y oxígeno ( $O_2$ ) en presencia de niveles de radiación solar de carácter, principalmente, estival. A su vez, la eliminación del ozono troposférico se produce por la reducción de los niveles de  $NO_x$ , entre otras condicionantes, lo cual le otorga la característica de contar con una vida media de días a semanas.

La denominación de “forzantes<sup>26</sup> climáticos” proviene de la capacidad de estos contaminantes en influir sobre el clima local<sup>27</sup> de variadas maneras, tales como dispersar o adsorber la radiación, interactuar con la microfísica de las nubes o bien, depositarse en superficies cubiertas de nieve o hielo y alterar el albedo<sup>28</sup>, como es el caso específico del carbono negro (BC<sup>29</sup>). Además, estos contaminantes no solo pueden alterar el clima local sino también pueden “constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental”<sup>30</sup>, conforme a la definición legal de contaminante, en aquellas zonas donde sean emitidos. Cabe recordar que en el marco del SEIA y para efectos metodológicos, el clima es un atributo descriptor de los objetos de protección, por lo tanto, el foco de evaluación ambiental de estos contaminantes, al margen del cumplimiento normativo, es determinar el impacto ambiental sobre la salud de la población y recursos naturales.

**25** “Las propiedades de esta capa son fundamentales para la mayor parte de los problemas de calidad del aire, puesto que los contaminantes atmosféricos son emitidos normalmente en el interior de la CLA y, por lo tanto, son afectados de manera directa por su dinámica. En la CLA los contaminantes se mezclan en forma relativamente rápida y son transportados por los vientos cercanos a la superficie. La altura o espesor de la CLA cambia rápidamente en el tiempo, mostrando un ciclo diario muy pronunciado, que a su vez depende de la estación del año. Por ejemplo, en horas de la tarde durante el verano, la altura de la CLA en Santiago puede sobrepasar los 1.000 metros sobre el nivel del suelo, mientras que en una tarde de invierno no supera los 200 metros”. Referencia extraída desde el Anexo I de la segunda edición de la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” (SEA, 2023), o aquella que la reemplace.

**26** Cabe aclarar que forzante se utilizará a lo largo de esta guía como sinónimo de “forzante radiativo”, definiendo “radiativo” como “la cantidad de energía que puede emitir un elemento, compuesto o sustancia mediante radiación electromagnética o partículas radiactivas, como es el caso de la energía que aporta el Sol a la Tierra o la energía que emiten los GEI al absorber la radiación”. Interpretación técnica con base en IPCC, 2018: Anexo I.

**27** Se debe entender por “clima local” a aquel clima predominante en una pequeña extensión horizontal de terreno de unos cuantos kilómetros, donde se manifiestan distintos fenómenos meteorológicos, como precipitaciones, vientos (velocidad y dirección), entre otros. En este sentido, corresponde a aquella extensión de terreno, que puede contener al área de influencia de un OP, cuya meteorología está descrita.

**28** “Fracción de radiación solar reflejada por una superficie u objeto, frecuentemente expresada en términos porcentuales. El albedo de los suelos puede tener valores altos, como en las superficies cubiertas de nieve, o bajos, como en las superficies cubiertas de vegetación y los océanos”. Definición con base en IPCC, 2018: Anexo I.

**29** Por sus siglas en inglés: *Black Carbon*.

**30** Ref. artículo 2º, letra d), de la Ley 19.300.

Tal es el caso de las emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) que, catalogándose como un FCVC, y en dependencia a sus concentraciones en la CLA en una determinada zona, pueden generar riesgo para la salud de la población<sup>31</sup> o efectos adversos significativos sobre los recursos naturales renovables, incluyendo la vida silvestre<sup>32</sup>.

Por lo tanto, los impactos de las emisiones de estos contaminantes (FCVC) deben ser evaluados en función a la indicación normativa de los literales a) y b) del artículo 11 de la Ley 19.300<sup>33</sup> respecto de la potencialidad de generar los efectos, características y circunstancias (ECC) allí descritos, mas no debe evaluarse su impacto sobre el clima, ya que este no es un objeto de protección (OP) sino un atributo, sin perjuicio de la obligación de cumplir con los límites de emisión que más adelante se establezcan en las correspondientes normas de emisión previstas en la Ley Marco de Cambio Climático.

.....

Por lo tanto, los titulares de proyectos o actividades que sometan sus iniciativas al SEIA **deben estimar las emisiones atmosféricas de FCVC**, tal como indica la actualización del Reglamento del SEIA, publicada bajo el Decreto 30, de 2023, del Ministerio del Medio Ambiente. A su vez, y en atención al descarte o evaluación de los ECC del artículo 11 de la Ley 19.300, **estos contaminantes (FCVC) deben ser analizados en función a la posibilidad de generar riesgo para la salud de la población o efectos adversos significativos sobre los recursos naturales renovables, incluidos suelo, agua y aire**, y con base en aquello, deben ser predichos y evaluados sus impactos ambientales en el SEIA.

Además, estarán sujetos, en un futuro, al cumplimiento de lo que establezcan las normas de emisión correspondientes<sup>34</sup>.

.....

---

**31** Decreto 104, de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

**32** Decreto 22, de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ).

**33** Véase en detalle estos ECC en el artículo 5º y 6º del Reglamento del SEIA, referidos a la generación o presencia del riesgo para la salud de la población y los efectos adversos significativos sobre los recursos naturales, respectivamente.

**34** Según establece el artículo 14 de la Ley 21.455 o Ley Marco de Cambio Climático.

### 1.3 Objetivos y alcances de la Guía

La estandarización de la metodología para la estimación y reporte de GEI y FCVC se realiza en el marco de las modificaciones al Reglamento del SEIA, correspondientes al Decreto 30, del 2023, del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), específicamente las que indican esta estimación como contenido mínimo para la elaboración de cualquier Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Estudio de Impacto Ambiental (EIA), en cualquiera de sus fases.

El enfoque de este documento responde a la **presentación de fuentes metodológicas** validadas para la estimación de los factores de emisión de GEI y FCVC, además de la estandarización en el cálculo de los niveles de actividad de estos factores, específicamente los relacionados a procesos de combustión, tanto fijas como móviles, y a distintos procesos industriales.

.....

El objetivo de la presente Guía es entregar una **metodología general** para estimar las emisiones atmosféricas de **GEI y FCVC o SLCF<sup>35</sup>**, (en adelante de manera indistinta) para cualquier proyecto o actividad que sea sometida al SEIA y así, estandarizar el formato de reporte de dichas emisiones. Cabe indicar que esta Guía se centra en aquellas fuentes de combustión y fuentes industriales para las cuales exista información probada y validada por los órganos competentes, según corresponda, donde el titular podrá utilizar una metodología simple y ágil para su aplicación.

A su vez, se espera que en futuras ediciones se considere incorporar metodologías para la estimación de fuentes de emisión como artefactos a leña o *pellets* de madera, emisiones provenientes de equipos de refrigeración u otros gases fluorados, de la crianza y engorda de bovinos, porcinos, ovinos o caprinos, y de aves, además de las emisiones provenientes de rellenos sanitarios, las cuales no forman parte del alcance de esta publicación. Así mismo, esta edición no presenta una metodología para la estimación de sumideros naturales, en cuanto a su capacidad de absorber una mayor cantidad de GEI que los emitidos.

.....

En materia de la elaboración de las DIA y EIA se les recomienda a los titulares no incorporar informes enfocados únicamente a GEI, sino que incluir esta información en el informe de estimación de emisiones.

Por último, cabe aclarar que esta Guía toma de referencia la metodología y factores de emisiones presentes en el repositorio denominado "Informe final servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental"<sup>36</sup>, elaborado por B.S. Consultores para el SEIA, en el año 2015, por lo tanto, los lineamientos y criterios aquí señalados deben ser considerados sobre los presentados en aquel repositorio.

---

<sup>35</sup> Por sus siglas en inglés; *Short-lived climate forcer*.

<sup>36</sup> Disponible en la sección "Documentos de Interés" del Centro de Documentación del sitio web del SEA: [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

## 2.

# INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

2.



## 2. INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

2.

Un inventario de emisiones atmosféricas corresponde a un listado numérico exhaustivo de gases y partículas liberadas a la atmósfera, cuantificando las emisiones producidas por distintas fuentes de emisión en un periodo determinado, pudiendo ser un año calendario o cronológico<sup>37</sup>. Sus fines van desde la gestión de los efectos de distintas actividades en un territorio, con un alcance nacional, regional o local, hasta la gestión de las huellas de carbono<sup>38</sup>. Un inventario, además, permite identificar las actividades que contribuyen en mayor medida a las emisiones, permitiendo concentrar los esfuerzos en el desarrollo de obras de abatimiento o medidas de mitigación acorde a esas circunstancias.

Entiéndase que para efectos de la **estimación de GEI, el término “mitigación”** corresponde a lo definido en el artículo 3º, letra k), de la Ley 21.455 indicada como aquella “acción, medida o proceso orientado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos, o restringir el uso de dichos gases como refrigerantes, aislantes o en procesos industriales, entre otros, o a incrementar, evitar el deterioro o mejorar el estado de los sumideros de dichos gases”. No se debe confundir con la “mitigación” que se define en el artículo 98 del Reglamento del SEIA, respecto al Plan de Medidas de Mitigación, Reparación y Compensación Ambiental presentado por un titular de un proyecto o actividad en el marco de la generación o presencia de los ECC del artículo 11 de la Ley 19.300.

En el contexto nacional se elaboran distintos inventarios de emisiones para dar cumplimiento a políticas nacionales, compromisos adoptados internacionalmente o evaluaciones de impacto ambiental de diferentes proyectos o actividades sometidos al SEIA. En particular, el MMA elabora inventarios para monitorear diferentes compromisos internacionales y evaluar los impactos de las políticas antes y después de su implementación, así como también el caso de los Planes de Prevención y Descontaminación Atmosféricas (PPDA).

Existen instancias que conectan las políticas públicas ambientales con el sector privado. El programa Huella Chile<sup>39</sup> ha vinculado el sector privado con el sector público a través de la estimación de huellas de carbono organizacionales que, si bien son estimaciones de emisiones, no responden a la lógica de un inventario de emisiones. Sin embargo, las metodologías utilizadas para la estimación de huellas de carbono pueden ser extendidas a los inventarios de emisiones.

<sup>37</sup> Definición con base en [Managing Air Quality - Emissions Inventories | US EPA](#)

<sup>38</sup> “Corresponde a la cuantificación de las emisiones de GEI producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos, entre otros, en términos de CO<sub>2</sub> equivalentes, y que sirve como una herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar las emisiones, cómo podemos mejorárlas y realizar un uso más eficiente de los recursos”. Con base en la definición de la ISO N°14064-1, correspondiente al diseño y desarrollo de inventarios de GEI para las organizaciones.

<sup>39</sup> El objetivo del programa Huella Chile es “fomentar el cálculo, reporte y gestión de gases de efecto invernadero (GEI) en organizaciones del sector público y privado”. Referido al objetivo institucional presentado en su sitio web, <https://huellachile.mma.gob.cl/>

Los compuestos que se cuantifican en los inventarios de emisiones atmosféricas que tienen relación con cambio climático son: gases de efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos de vida corta (FCVC). A continuación, se describen brevemente los inventarios de estos contaminantes.

## 2.1 Inventarios de gases de efecto invernadero

Los GEI son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales o antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre, emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera o por las nubes, y que se caracterizan por tener una vida media relativa desde décadas hasta siglos o más, siendo químicamente estables, lo que permite que se mezclen de manera “homogénea” en la atmósfera, de modo que sus emisiones y concentraciones ejercen su influencia en el clima a nivel mundial.

La Ley Marco de Cambio Climático<sup>40</sup> establece que los GEI corresponden a aquellos gases indicados por la CMNUCC y la enmienda de Kigali, o aquellas que los reemplacen. **Bajo este marco, se espera que los titulares de proyectos o actividades que se sometan al SEIA presenten la estimación de los siguientes gases de efecto invernadero, en función de sus fuentes de emisión:**

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Metano ( $\text{CH}_4$ ).
- Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- Gases fluorados, tales como:
  - Hidroclorofluorocarbonos (HFC).
  - Perfluorocarbonos (PFC).
  - Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).
  - Trifluoruro de nitrógeno ( $\text{NF}_3$ ).
  - Entre otros.

Respecto del reporte de los GEI y de manera de comprender las emisiones y flujos estimados de todos los gases, se deberán expresar las emisiones en unidades de masa de cada gas y, además, **se recomienda expresar estas emisiones en términos de su equivalencia en  $\text{CO}_2$  (en adelante  $\text{CO}_2$  eq.).**

A través de la métrica **Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA)** o **Potencial de Calentamiento Global (PCG)**, las emisiones de los GEI distintos al  $\text{CO}_2$  se pueden convertir en  $\text{CO}_2$  eq. Estos potenciales son propuestos por el Grupo Intergubernamental de Expertos

<sup>40</sup> Ley 21.455 del Ministerio del Medio Ambiente. Disponible en el sitio web de la Biblioteca del Congreso Nacional, <https://www.bcn.cl/leychile/>

sobre el Cambio Climático o IPCC<sup>41</sup> en sus reportes de evaluación<sup>42</sup> según el conocimiento científico, los cuales son utilizados por los distintos países para el reporte de sus emisiones de GEI en sus compromisos internacionales, referentes a la CMNUCC, donde destaca en particular la **Contribución Determinada a Nivel Nacional o NDC<sup>43</sup>**.

En el caso particular de nuestro país, los PCA utilizados para el reporte de los compromisos son los referentes al quinto reporte del IPCC, cuyos valores se presentan en la Tabla 1. Estos valores deben ser utilizados al momento de calcular y presentar las emisiones de CO<sub>2</sub> eq. en el marco del SEIA, a menos que el MMA utilice o recomiende otros valores según el reporte de los NDC.

**Tabla 1. Potenciales de calentamiento atmosférico para diferentes gases de efecto invernadero**

GEI	PCA / PCG (100 AÑOS)	EJEMPLO APLICADO
CO <sub>2</sub>	1	
CH <sub>4</sub>	28	
N <sub>2</sub> O	265	Emisiones de un proyecto o actividad CO <sub>2</sub> = 100 [ton/año] N <sub>2</sub> O= 0,2 [ton/año]
HFC-23	12.400	
HFC-32	677	
HFC-43-10	1.650	Cálculo emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente <sup>44</sup>
PFC-14	7.390	Emisiones de CO <sub>2</sub> eq.= CO <sub>2</sub> × PCA <sub>CO<sub>2</sub></sub> + N <sub>2</sub> O × PCA <sub>N<sub>2</sub>O</sub>
PFC-116	12.200	Emisiones de CO <sub>2</sub> eq.= 100 × 1 + 0,2 × 265
PFC-218	8.830	Emisiones de CO <sub>2</sub> eq.= 153 [ton/año]
SF <sub>6</sub>	23.500	

Fuente: Quinto reporte del IPCC, 2013, capítulo 8 *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*, tabla 8.A.1, con base en su potencial en 100 años.

<sup>41</sup> Por sus siglas en inglés: *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

<sup>42</sup> En la actualidad <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

<sup>43</sup> Por sus siglas en inglés: *Nationally Determined Contribution*.

<sup>44</sup> Metodología para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente se presenta en la Ecuación 3 de esta Guía.

## 2.2 Inventarios de forzantes climáticos de vida corta

Los FCVC corresponden a un conjunto de gases o partículas, incluyendo el BC contenido en el material particulado (MP), cuya vida media en la atmósfera, después de ser emitidos o formados, se estima en horas o hasta décadas, en un rango siempre inferior a la vida media relativa del dióxido de carbono<sup>45</sup> ( $\text{CO}_2$ ). Estos gases y aerosoles, en su gran mayoría, son químicamente reactivos y se eliminan por lo general mediante procesos naturales de oxidación en la atmósfera, removiéndose en la superficie o debido a las precipitaciones. Por eso sus concentraciones son variables y dependen en gran medida de las condiciones locales del territorio.

En este sentido, se debe entender que los FCVC son, además, en su gran mayoría, "contaminantes"<sup>46</sup> del aire a escalas locales e incluso regionales, a partir de lo cual sus estimaciones son utilizadas en referencia al cumplimiento de las metas, compromisos y obligaciones asociadas a distintos instrumentos de gestión ambiental a escalas nacionales como subnacionales, como, por ejemplo, los PPDA, con la finalidad de evitar sus efectos sobre la salud de la población o los recursos naturales.

Los FCVC son compuestos que varían en cuanto a su composición, impacto y procedencia, por esa razón ha sido complejo el proceso de clasificación. En el VI Informe de Evaluación<sup>47</sup>, presentado como uno de los informes del Sexto Reporte del IPCC, se entrega un listado de forzantes el cual es usado de referencia para delimitarlos. **Bajo este marco, se espera que los titulares de proyectos o actividades que se sometan al SEIA presenten la estimación de los siguientes FCVC, en función a sus fuentes de emisión.**

- Material particulado respirable<sup>48</sup> (MP10 y MP2,5) y su contenido de carbono negro (BC), este último en caso de corresponder<sup>49</sup>.
- Monóxido de carbono (CO).

**45** Tal como se indica en la tercera edición de la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA" (SEA, 2024), o aquella que la reemplace, si bien el metano ( $\text{CH}_4$ ) cumple con la condición de tener una vida media relativa menor que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) debe ser considerado dentro de los GEI debido a los alcances espaciotemporales de sus impactos, diferenciando del resto de FCVC, para efectos de este documento.

**46** "Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental", según artículo 2º, letra d), de la Ley 19.300.

**47** Capítulo 6º del Grupo 1: "Las Bases de la ciencia de trabajo" del VI Informe de Evaluación. Disponible en el siguiente enlace: [Chapter 6: Short-lived Climate Forcers | Climate Change 2021: The Physical Science Basis](#)

**48** El MP10 y MP2,5 no son considerados un forzante climático como tal, sino que algunos de sus elementos constitutivos como es el caso del carbono negro, según indica el IPCC. Ref. Reporte disponible en el siguiente enlace: <https://www.ipcc.ch/report/methodology-report-on-short-lived-climate-forcers/>. Sin embargo, para efectos de esta guía metodológica se categorizará al MP10 y MP2,5 como FCVC para brindar opciones metodológicas para su estimación.

**49** La generación de carbono negro responde a procesos de combustión, además, sus factores de emisión y niveles de actividad están aún en proceso de estudio.

- Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ , principalmente el  $\text{NO}_2$ ).
- Amoniaco o gas amonio ( $\text{NH}_3$ ).
- Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM<sup>50</sup>).
- Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ , principalmente el  $\text{SO}_2$ ).

2.

A diferencia de los GEI, los FCVC no pueden ni deben ser agrupados bajo una métrica de equivalencia de  $\text{CO}_2$  o de otro contaminante, dado sus comportamientos y composiciones heterogéneas. Lo anterior, no quita que para algunos PPDA se deban estimar las emisiones equivalentes de material particulado respirable (MP10) y fino respirable (MP2,5) en el marco del análisis de compensación de emisiones y el cumplimiento normativo asociado.

Respecto de la estimación de las emisiones de COVDM cabe precisar que esta Guía no presenta una diferenciación de los distintos compuestos que engloba esta definición al momento de presentar los factores de emisión para las distintas fuentes, es decir, solo se presenta un factor de emisión general, no pudiendo a partir de este generar consideraciones para obtener un contaminante específico, como es el caso del benceno. Se espera que en futuras ediciones se agreguen factores para las distintas especies.

.....

En su gran mayoría, los FCVC corresponden a los contaminantes criterios<sup>51</sup> que son estimados y evaluados en el marco del SEIA, ya sea para el **cumplimiento normativo establecido en algún otro instrumento de gestión ambiental, como lo son los PPDA** o, para la evaluación o descarte de los efectos, características y circunstancias del artículo 11 de la Ley 19.300.

Por ende, no es exigencia del Reglamento del SEIA definir qué o cuáles contaminantes atmosféricos locales son forzantes climáticos, sino más bien, aportar una estimación de éstos. **En este punto, se recomienda al titular de proyecto o actividad que en función de cada fuente de emisión defina los contaminantes atmosféricos emitidos y luego en la presentación del resumen de emisiones se identifiquen cuáles son FCVC y GEI, según corresponda.**

.....

---

**50** “Toda sustancia química que, a excepción del Metano, contenga átomos de carbono e hidrógeno (que puedan ser sustituidos por otros átomos como halógenos, oxígeno, azufre, nitrógeno o fósforo) y que a 20°C tenga una presión de vapor mayor o igual a 0,01 kPa, o que tenga una volatilidad equivalente según condiciones particulares de uso, manipulación y/o almacenamiento. Se incluye en esta definición la fracción de creosota que sobrepase este valor de presión de vapor a la temperatura indicada de 20°C”. Ref. artículo 3º del Decreto 105, de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente que aprueba el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

**51** Entiéndase técnicamente por “contaminantes criterios” aquellos contaminantes atmosféricos que cuentan con norma primaria o secundaria de calidad ambiental y que son medidos.

## 2.3 Metodologías de estimación de emisiones atmosféricas

Las emisiones atmosféricas ocurren tanto por actividades antropogénicas como por procesos naturales, las cuales emiten gases y partículas a diferentes tasas. Estas tasas de emisión se denominan factores de emisión (FE) y corresponden a una intensidad de emisión esperada por unidades de una actividad. Por ejemplo, kilogramos de CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera en función a: los kilómetros recorridos por un vehículo, consumo de combustible de un grupo eléctrico (GE) o la producción de algún material o compuesto, entre otros, en un periodo determinado, usualmente siendo considerado como un año cronológico<sup>52</sup>. A continuación, se muestra la ecuación general que representa la estimación de emisiones atmosféricas.

### Ecuación 1. Ecuación general para la estimación de emisiones atmosféricas

$$E = FE \times Na \times (1 - Ea)$$

Donde:

- E** : Emisión atmosférica en unidades de cantidad de un gas o partícula (GEI y FCVC) durante un año cronológico.
- FE** : Factor de emisión en unidades de cantidad del gas o partícula por el nivel de actividad.
- Na** : Nivel o datos de actividad, en unidades de la actividad emisora respecto a un determinado tiempo. Para el caso de esta Guía se presentarán en periodo de un año cronológico.
- Ea** : Eficiencia del abatimiento de la emisión del gas o partícula<sup>53</sup>, determinado en fracción.

Si bien esta ecuación describe la generalidad de los casos en la que se estiman las emisiones atmosféricas de cualquier gas o partícula, en algunas ocasiones, la falta de literatura para factores de emisión de una determinada fuente o proceso específico conduce a buscar otros métodos para estimar estas emisiones, entre los cuales se considerará válido el cálculo a partir de balances de materia y energía, tal como se indica en el Anexo IV de la segunda edición de la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” (SEA, 2023) o aquella que la reemplace.

Las metodologías internacionales adoptadas y probadas por diferentes países e instituciones competentes en la materia, señalan al menos **tres niveles (desde el 1 al 3)** metodológicos para la estimación de emisiones atmosféricas con base en la Ecuación 1, los cuales dependen del grado de información disponible de la fuente y la estadística nacional o internacional

<sup>52</sup> Entiéndase como aquel período de doce meses para la estimación de las emisiones atmosféricas.

<sup>53</sup> En la sección 5º de esta Guía se presentan valores de eficiencia para distintas fuentes de emisión y contaminantes.

asociada. Usualmente estas metodologías entregan resultados distintos, en donde los niveles menores tienden a ser más conservadores en la estimación. Para efectos de la presente Guía, la metodología de estimación de los GEI responderá principalmente al **Nivel 1 (Tier 1)**<sup>54</sup>, referenciada a partir de las Directrices del IPCC del año 2006<sup>55</sup>.

Para el caso de la estimación de los FCVC se cuenta con vasta experiencia nacional en la elaboración de sus inventarios, por lo que se adoptarán las metodologías probadas por titulares y consultores al momento de presentar sus iniciativas a evaluación en el SEIA, es decir, aquellas metodologías internacionales validadas por el Ministerio del Medio Ambiente tales como: "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook", elaborada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EMEP/EEA<sup>56</sup>), "AP-42: Compilation of Air Emissions Factors" de la Agencia de Protección Ambiental (EPA<sup>57</sup>) de los Estados Unidos, entre otras<sup>58</sup>.

## 2.4 Reporte de las emisiones atmosféricas

La agrupación y reporte de las emisiones atmosféricas es esencial para evaluar las metodologías de estimación aplicadas en las diferentes categorías o fuentes de emisión. En esta línea, la Tabla 2 presenta un resumen elaborado con base en la información levantada por el IPCC para las diversas fuentes de emisiones agrupadas en categorías.

<sup>54</sup> "Los métodos del Nivel 1 (...) están concebidos para utilizar las estadísticas nacionales o internacionales disponibles, en combinación con los factores de emisión por defecto y los parámetros adicionales provistos y, por lo tanto, deben ser viables para todos los países". Ref. IPCC, 2006.

<sup>55</sup> Véanse las Directrices del IPCC en la siguiente sitio web: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

<sup>56</sup> Por sus siglas en inglés; *European Environment Agency*.

<sup>57</sup> Por sus siglas en inglés; *Environmental Protection Agency*.

<sup>58</sup> Una de las guías nacionales más citadas al momento de elaborar inventarios de emisiones atmosféricos en el marco del SEIA es la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana", elaborada en el año 2020, por la Subsecretaría Regional Ministerial (Seremi) del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago, la cual tiene como referencias estas y otras fuentes validadas de información. Disponible en el sitio web de calidad del aire de la Región Metropolitana: <https://airerm.mma.gob.cl/>

Tabla 2. Categorías y subcategorías para la estimación de emisiones los respectivos GEI y FCVC

CATEGORÍA	SUB CATEGORÍA	GASES DE EFECTO INVERNADERO				FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA							
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	GASES-F	MP10	MP2,5	BC	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	COVDM
Combustión estacionaria	Grupos electrógenos	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Calderas	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Otros procesos	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Combustión móvil	Combustión interna de vehículos	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Maquinaria fuera de ruta	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Procesos industriales y uso de productos	Producción de metanol	X	X										
	Producción de amoníaco	X											
	Producción de cemento	X				X	X	X	X		X		X
	Producción de cal	X											
	Producción de vidrio	X											X
	Producción de ácido nítrico			X					X	X			
	Producción de etileno	X	X										X
	Producción de hierro y acero	X	X			X	X	X	X		X	X	X
	Uso de SF <sub>6</sub>				X								
	Uso de N <sub>2</sub> O				X								
Emisiones fugitivas	Tronaduras					X	X						
	Demolición					X	X						
	Movimientos de tierra					X	X						
	Resuspensión por tránsito de vehículos					X	X						
	Procesamiento de roca chancada y mineral pulverizado					X	X						

Nota: La Tabla 2 se debe leer de la siguiente forma: los cuadros en rosa con cruces indican la subcategoría y su respectivo gas/partícula para el cual se incluye información en esta Guía, mientras que los restantes cuadros indican que dicho gas/aerosol no se emite (cuadro blanco) o se emite pero no existe información en esta Guía (cuadro blanco con cruz).

Esta tabla aporta una correlación entre fuentes de emisión y contaminantes atmosféricos (GEI y FCVC), de tal manera de reconocer, de manera oportuna y eficiente, qué presentar y reportar en el anexo correspondientes a la estimación de las emisiones del proyecto o actividad a ser sometido al SEIA.

Se aclara que **este reporte debe ser presentado por cada fase del proyecto o actividad, según indica el Reglamento del SEIA, con base en cada año cronológico (12 meses) de duración o su fracción**, para lo cual, se recomienda ceñirse a las indicaciones de formato presentadas en el Anexo 2 de la presente Guía. Además, las emisiones de los GEI y FCVC deben ser presentadas en unidades de toneladas por año.

### 3.

## ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

3.



### 3. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El presente capítulo contiene metodologías y consideraciones para estimar emisiones de GEI provenientes de diferentes actividades, en específico de las categorías presentadas en la Tabla 2.

Respecto a la cuantificación y reporte de emisiones de GEI, se recomienda al titular presentar tanto las emisiones de cada uno de estos gases por separado, en función a los años cronológicos del proyecto o actividad y las distintas fases, como además las de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2$  eq.), utilizando los PCG según los valores presentados en la Tabla 1. Cabe reiterar que, en caso de que la NDC actualice sus PCG, se deberán utilizar aquellos valores en desmedro de los presentados en la tabla mencionada.

3.

#### 3.1 Combustión estacionaria

Las emisiones de GEI provenientes de la combustión estacionaria corresponden a los compuestos generados al quemar combustibles con el fin de aprovechar su liberación de energía. Un combustible se puede entender como “toda aquella sustancia o compuesto, de origen natural o sintético, que pueden arder u oxidarse y que a partir de esta reacción libere energía en forma de calor y luz”, siendo esta energía utilizada para movilizar vehículos o maquinarias, encender u operar equipos, generar vapor, entre tantos otros usos. Son combustibles los derivados del petróleo; biocombustibles líquidos, como el bioetanol o biodiésel; gases licuados combustibles y todo fluido gaseoso combustible, como gas natural, gas licuado de petróleo, biogás y biometano; carbón, incluyendo los derivados del hidrógeno o alternativos, como los elaborados a partir de aceites lubricantes usados.

Las fuentes de emisión<sup>59</sup> que utilizan combustibles se pueden clasificar, principalmente, en puntuales (**combustión estacionaria**) y móviles (**combustión móvil**).

Las fuentes puntuales corresponden a aquellas que por su naturaleza son emitidas en un punto o puntos fijos en el tiempo debido al proceso con independencia a su caudal de emisión, por ejemplo, aquellas emisiones desde una chimenea producto de la quema de combustible para la generación de vapor o aquella quema para el encendido y operación de un grupo electrógeno de respaldo. Por otro lado, las fuentes móviles corresponden a aquellas que por su naturaleza se emiten en dependencia de la ubicación en el tiempo de la fuente dada por su movimiento o desplazamiento, por ejemplo, la combustión de aquellos vehículos que se utilicen para transportar materias primas y residuos o el uso de maquinarias para los trabajos en el predio.

La estimación de emisiones correspondiente a la combustión estacionaria se puede determinar utilizando la siguiente ecuación.

---

<sup>59</sup> En el marco de la presente guía, se entenderá como “fuente de emisión” a cualquier proceso o actividad que libere uno o más GEI o FCVC a la atmósfera.

**Ecuación 2. Metodología de estimación de emisiones de GEI para la combustión estacionaria**

$$E_{GEI,Combustible} = FE_{GEI,Combustible} \times Na_{Combustible}$$

Donde:

- E** : Emisiones por GEI según combustible.
- FE** : Factor de emisión por GEI según combustible.
- Na** : Nivel o datos de actividad por combustible.

Mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente se darán por la siguiente ecuación:

**Ecuación 3. Metodología generalizada de estimación de emisiones en términos de CO<sub>2</sub> eq., combustión estacionaria**

$$E_{CO2eq} = \sum_{GEI} FE_{GEI} \times Na_{Combustible} \times PCA_{GEI}$$

Donde:

- PCA** : Potencial de calentamiento atmosférico según GEI. Véase Tabla 1

Las unidades de un FE determinado deben ser consistentes con las del respectivo Na. Por ejemplo, el consumo de combustible proveniente de los distintos usos puede ser calculado en diferentes unidades: energéticas (kjoules [kJ] o kcal)<sup>60</sup> o magnitudes físicas (m<sup>3</sup> o kg). De acuerdo con esto es necesario convertir de una unidad a otra dependiendo del FE disponible. Normalmente la conversión de unidades se realiza considerando la densidad y poder calorífico del combustible, sin embargo, existen múltiples factores en la literatura para realizar estas conversiones.

En la Tabla 3 se presentan diferentes factores para realizar las conversiones de unidades necesarias para los combustibles que se utilizan comúnmente en el país, con base en las indicaciones del Balance Nacional de Energía (BNE), específicamente del levantado para el año 2020. Se aclara que esta no es una lista taxativa, pudiendo existir otros combustibles que el titular decida utilizar para sus distintas fuentes, en cuyo caso deberá justificar estos parámetros.

---

**60** Cabe indicar que tanto terajoules como kilocalorías (kcal) son una unidad de medida de energía, y se relacionan a partir de la siguiente ecuación: 1 kcal=4,1868 kjoule [kJ]. Ref. IPCC 2006, Anexo 8A.1.

**Tabla 3.** Parámetros para la conversión de unidades según los combustibles que comúnmente se utilizan en Chile

COMBUSTIBLE	DENSIDAD (ton/m <sup>3</sup> )	PODER CALORÍFICO	
		INFERIOR	UNIDAD
<b>Biogás</b>	-	5.600	kcal/m <sup>3</sup>
<b>Biomasa</b>	-	3.500	kcal/kg
<b>Carbón</b>	-	6.650	kcal/kg
<b>Coque de Petróleo</b>	-	7.695	kcal/kg
<b>Coque Mineral</b>	-	6.650	kcal/kg
<b>Gas de Refinería</b>	-	4.047	kcal/m <sup>3</sup>
<b>Gas de alto horno</b>	-	531	kcal/kg
<b>Gas Licuado de Petróleo (GLP)</b>	0,550	10.890	kcal/kg
<b>Gas Natural</b>	$7,95 \times 10^{-4}$	8.407	kcal/m <sup>3</sup>
<b>Gas Natural Licuado</b>	0,450	9.555	kcal/m <sup>3</sup>
<b>Gasolina Motor</b>	0,730	10.640	kcal/kg
<b>Kerosene</b>	0,810	10.545	kcal/kg
<b>Licor Negro</b>	-	2.885	kcal/kg
<b>Nafta</b>	0,700	10.925	kcal/kg
<b>Petróleo Combustible 5</b>	0,927	9.975	kcal/kg
<b>Petróleo Combustible 6</b>	0,945	9.975	kcal/kg
<b>Petróleo Combustible IFO 180</b>	0,936	10.500	kcal/kg
<b>Petróleo Crudo Importado</b>	0,855	10.860	kcal/kg
<b>Petróleo Diésel</b>	0,840	10.355	kcal/kg

Fuente: elaboración propia con base en el Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía (2022), y parámetros disponibles en el sitio web del programa HuellaChile<sup>61</sup> (2022).

**61** Ref. disponibles en: <https://huellachile.mma.gob.cl/recursos-material-de-apoyo/>

.....

Si bien la lista presentada es extensa, no constituye una obligación para el titular del proyecto o actividad sometido al SEIA utilizarla en su totalidad. Solo deben emplearse los datos correspondientes a los combustibles asociados a las fuentes estacionarias efectivamente declaradas, por ejemplo, como grupos generadores, calderas, entre otras.

.....

Con el fin de facilitar la aplicabilidad de la Tabla 3, a continuación se presenta un ejemplo de conversión de unidades en una **situación ficticia**.

3.

### EJEMPLO APLICADO DE CALOR GENERADO Y CONVERSACIÓN DE UNIDADES

Un proyecto que será sometido al SEIA necesitará el uso de un grupo electrógeno (GE) de respaldo en caso de corte del suministro eléctrico durante la fase de construcción. La descripción del uso de GE y del combustible se presentan en la "Descripción de Proyecto" y anexos correspondientes, y se resumen a continuación:

- Fase de construcción (un año de duración).
- Jornada laboral de 8 horas diarias.
- GE se usará en los días de corte de suministro, los cuales, según información primaria, corresponderían a 10 días promedio al año.
- Ficha técnica del GE indica que el consumo en marcha es de 10 litros de **petróleo diésel** por hora.

Con base en esta información y los datos presentados en la Tabla 3 se procede a **estimar la cantidad de calor generado en función al consumo de combustible**:

Masa de combustible quemada

$$\begin{aligned}
 &= 10 \left( \text{litros/h} \right) \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ litros}} \right) \times 10 \left( \text{día/año} \right) \times 8 \left( \text{h/día} \right) \times 0,840 \left( \text{ton/m}^3 \right) \times \left( \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \right) \\
 &\quad = 672 \left( \text{kg/año} \right)
 \end{aligned}$$

Cálculo calor generado en función a la cantidad de combustible

$$\begin{aligned}
 &= 672 \left( \text{kg/año} \right) \times 10.355 \left( \text{kcal/kg} \right) \\
 &\quad = 6.958.560 \left( \text{kcal/año} \right)
 \end{aligned}$$

A partir de este resultado, es posible transformar la cantidad de energía generada por el combustible usado para el grupo electrógeno desde calorías (cal) a Joules (J), teniendo en consideración el factor de conversión: 1 kcal=4,1868 kJ. Se obtiene el calor generado en TJ, homologando las unidades de los FE indicados en la Tabla 4.

$$\begin{aligned}\text{Calor generado (TJ)} &= 6.958.560 \left( \frac{\text{kcal}}{\text{año}} \right) \times \left( \frac{4,1868 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ TJ}}{10^9 \text{ kJ}} \right) \\ &= 0,029 \left( \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right)\end{aligned}$$

---

3.

Los FE son obtenidos mayormente de las directrices para la elaboración de inventarios del IPCC, los cuales están en función del poder calorífico del combustible. A continuación, se presenta tabla con FE para diferentes combustibles.

**Tabla 4. Factores de emisión para los diferentes combustibles utilizados en aplicaciones estacionarias**

COMBUSTIBLES		ESTADO	FACTORES DE EMISIÓN (kg GEI/TJ)			
NOMBRE BNE <sup>62</sup>	NOMBRE IPCC 2006 EN ESPAÑOL		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
<b>Biogás</b>	Otro biogás	Gaseoso	54.600	1	0,1	
<b>Biomasa</b>	Madera y desechos de madera	Sólido	112.000	30	4,0	
<b>Carbón</b>	Otro carbón bituminoso	Sólido	94.600	10	1,5	
<b>Coque de Petróleo</b>	Coque de petróleo	Sólido	97.500	10	0,6	
<b>Carbón de coque</b>	Carbón de coque	Sólido	94.600	10	1,5	
<b>Gas de Refinería</b>	Gas de refinería	Gaseoso	57.600	5	0,1	
<b>Gas de alto horno</b>	Gas de alto horno	Gaseoso	260.000	5	0,1	
<b>Gas Licuado</b>	Gases licuados de petróleo	Gaseoso	63.100	5	0,1	
<b>Gas Natural</b>	Gas natural	Gaseoso	56.100	5	0,1	
<b>Gas Natural Licuado</b>	Gas natural	Líquido	56.100	5	0,1	
<b>Gasolina Motor</b>	Gasolina para motores	Líquido	69.300	10	0,6	
<b>Kerosene</b>	Otro queroseno	Líquido	71.900	10	0,6	
<b>Licor Negro</b>	Biomasa	Líquido	112.000	30	4,0	
<b>Nafta</b>	Nafta	Líquido	73.300	10	0,6	
<b>Petróleo Combustible 5</b>	Fuelóleo residual	Líquido	77.400	10	0,6	
<b>Petróleo Combustible 6</b>	Fuelóleo residual	Líquido	77.400	10	0,6	
<b>Petróleo Combustible IFO 180</b>	Gas/Diesel Oil	Líquido	74.100	10	0,6	
<b>Petróleo Crudo Importado</b>	Gas/Diesel Oil	Líquido	74.100	10	0,6	
<b>Petróleo Diésel</b>	Gas/Diesel Oil	Líquido	74.100	10	0,6	

Fuente: IPPC, 2006 & Ministerio de Energía, 2022.

Para facilitar la aplicabilidad de la Tabla 4, a continuación se presenta un ejemplo ficticio de estimación de emisiones de GEI por combustión estacionaria de un grupo electrógeno utilizando los datos resultantes del ejemplo anterior.

<sup>62</sup> "Balance Nacional de Energía 2020", elaborado por el Ministerio de Energía de Chile.

### EJEMPLO APLICADO DE ESTIMACIÓN DE GEI

Utilizando la cantidad de calor generada indicada en el ejemplo pasado, se obtienen los siguientes valores de emisión de GEI para el uso del GE, como insumo los datos de FE de la Tabla 4.

Emisión de CO<sub>2</sub>

$$= 0,029 \left( \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right) \times 74.100 \left( \frac{\text{kgCO}_2}{\text{TJ}} \right)$$

$$= 2.148,9 \left( \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}} \right)$$

3.

Emisión de CH<sub>4</sub>

$$= 0,029 \left( \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right) \times 10 \left( \frac{\text{kgCH}_4}{\text{TJ}} \right)$$

$$= 0,290 \left( \frac{\text{kgCH}_4}{\text{año}} \right)$$

Emisión de N<sub>2</sub>O

$$= 0,029 \left( \frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right) \times 0,6 \left( \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{TJ}} \right)$$

$$= 0,017 \left( \frac{\text{kgN}_2\text{O}}{\text{año}} \right)$$

Se recomienda al titular, una vez estimada las emisiones de GEI de las distintas fuentes de emisión, **calcular el valor de CO<sub>2</sub> eq., según cada año cronológico y fase del proyecto, tal como se presenta a continuación.**

GEI	EMISIÓN (kg/año)	PCA O PCG <sup>63</sup>	EMISIÓN CO <sub>2</sub> eq.(kg/año)
	A <sub>GEI</sub>	B <sub>GEI</sub>	$\sum (A_{GEI} \times B_{GEI})$
CO <sub>2</sub>	2.148,9	1	
CH <sub>4</sub>	0,290	28	
N <sub>2</sub> O	0,017	265	2.161,53

<sup>63</sup> Datos extraídos desde la Tabla 1.

## 3.2 Combustión móvil

Las emisiones de estos gases provenientes de la combustión móvil son aquellas emitidas a través del sistema de escape de gases del vehículo o maquinaria. Al igual que la estimación de emisiones correspondiente a la combustión estacionaria, las emisiones de GEI por combustión móvil se pueden estimar utilizando la Ecuación 2 y Ecuación 3.

A continuación, se presenta desagregada la metodología para la estimación de emisiones de GEI para los vehículos de transporte de pasajeros o carga y maquinaria fuera de ruta.

3.

### 3.2.1 Combustión interna de vehículos

Para el caso de los vehículos de transporte de pasajeros o carga se debe utilizar la metodología de cálculo de los niveles de actividad (Na) referentes a los factores de emisión propuestos para la combustión estacionaria (véase Tabla 4).

Usualmente la información más confiable que se tiene para calcular estos Na es la cantidad de kilómetros recorridos por algún tipo de vehículo, siendo necesario convertir los kilómetros recorridos en combustible consumido, utilizando para este objetivo los rendimientos típicos por tipo de vehículo, expresados en kilómetros por litro (km/l). En la Tabla 5 se presentan algunos rendimientos vehiculares obtenidos del repositorio de estudios del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones<sup>64</sup>. En caso de que se utilice otro rendimiento, este debe ser justificado, por ejemplo, con la ficha técnica del vehículo.

**Tabla 5. Rendimientos para diferentes tipos de vehículos según algunas categorías del parque vehicular**

CATEGORÍA	COMBUSTIBLE	RENDIMIENTO (km/l)
Vehículo liviano	Gasolina	11,6
Vehículo mediano	Gasolina	9,4
Taxi	Gasolina	11,4
Motocicletas	Gasolina	25,0
Vehículo liviano	Diésel	16,4
Vehículo mediano	Diésel	11,6
Taxi	Diésel	16,3
Buses urbanos	Diésel	2,9

<sup>64</sup> Datos extraídos de la Tabla 5-8 del informe "Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II" (año 2022), disponible en el sitio web de la Biblioteca Digital de Transporte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones: <https://biblioteca.mtt.gob.cl/>

CATEGORÍA	COMBUSTIBLE	RENDIMIENTO (km/l)
<b>Buses interurbanos</b>	Diésel	4,8
<b>Camiones</b>	Diésel	4,0
<b>Tractocamiones</b>	Diésel	2,3
<b>Motocicletas</b>	Diésel	37,0

Fuente: Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2022.

3.

Para facilitar la aplicabilidad de la Tabla 5 y de la estimación de emisiones de la combustión en los motores producto del tránsito de vehículos, es que a continuación se presenta un ejemplo ficticio:

### EJEMPLO APLICADO DE ESTIMACIÓN DE GEI POR VEHÍCULOS DE TRANSPORTE

Un proyecto que será sometido al SEIA utilizará tres tipos de vehículos durante la fase de construcción, tal como se presenta en la “Descripción de Proyecto” y anexos correspondientes. Cabe indicar que la fase de construcción tendrá una duración de un año cronológico.

#### a) Descripción del proyecto

Desde la descripción de la acción de transporte terrestre de los insumos y residuos, con base metodológica en el capítulo 2º de la “Guía para la descripción de la acción del transporte terrestre” (SEA, 2017) o aquella que la reemplace, se puede obtener la cantidad de viajes asociados a los vehículos (en dependencia de la carga) y a los lugares de carga y descarga, con lo cual se estiman los kilómetros recorridos para cada tipo de vehículo y tipo de combustible.

Es relevante señalar que en el marco de la estimación de GEI, uno de los aspectos clave es la correcta identificación del tipo de combustible utilizado por los vehículos, dado que este factor incide directamente en el cálculo de las emisiones generadas.

En la siguiente tabla se presenta el recorrido total de los distintos tipos de vehículos utilizados durante la fase de construcción, diferenciados según el tipo de combustible, rendimiento y uso.

VEHÍCULO	RECORRIDO ANUAL	COMBUSTIBLE	RENDIMIENTO <sup>65</sup>	USO
<b>Camionetas</b>	3.500 km	Gasolina motor <sup>66</sup>	9,4 km/litro	Transporte de insumos menores
<b>Camionetas</b>	2.000 km	Diésel	11,6 km/litro	Transporte de insumos menores
<b>Camiones</b>	2.000 km	Diésel	4,0 km/litro	Transporte de insumos mayores y residuos

Con estos datos, se procederá a calcular las emisiones de GEI asociadas al transporte de insumos y residuos, diferenciadas según el tipo de vehículo.

#### b) Consumo de combustible en unidades de energía (TJ) por camionetas a gasolina

En primera instancia se debe calcular la masa de combustible quemada a partir de la cantidad de litros de combustible consumidos. Para ello, se utilizará como dato de referencia la densidad del combustible indicada en la Tabla 3.

Masa de combustible quemada

$$\begin{aligned}
 &= 3.500 \left( \frac{\text{km}}{\text{año}} \right) \Big/ 9,4 \left( \frac{\text{km}}{\text{litro}} \right) = 372,34 \left( \frac{\text{litros}}{\text{año}} \right) \\
 &= 372,34 \left( \frac{\text{litros}}{\text{año}} \right) \times 0,73 \left( \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ litros}} \right) \\
 &= 0,272 \left( \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) = 271,8 \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)
 \end{aligned}$$

Para la estimación de la energía consumida se utilizará el poder calorífico inferior del combustible disponible en la Tabla 3 y su respectiva conversión a Joules.

<sup>65</sup> Dato extraído de la Tabla 6.

<sup>66</sup> Conocida coloquialmente como "bencina".

Energía liberada

$$= 271,8 \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) \times 10.640 \left( \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times \left( \frac{4.186,8 \text{ Joules}}{1 \text{ kcal}} \right)$$

$$= 12.108.024.634 \left( \frac{\text{Joules}}{\text{año}} \right) = 0,01211 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right)$$

### c) Consumo de combustible en unidades de energía (TJ) por camionetas diésel

En primera instancia se debe calcular la masa de combustible quemada a partir de la cantidad de litros de combustible consumidos. Para ello, se utilizará como dato estándar la densidad del combustible presentada en el Tabla 3.

Masa de combustible quemada

$$= \frac{2.000 \left( \frac{\text{km}}{\text{año}} \right)}{11,6 \left( \frac{\text{km}}{\text{litro}} \right)} = 172,41 \left( \frac{\text{litros}}{\text{año}} \right)$$

$$= 172,41 \left( \frac{\text{litros}}{\text{año}} \right) \times 0,84 \left( \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ litros}} \right)$$

$$= 0,145 \left( \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) = 144,8 \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)$$

Para la estimación de la energía consumida se utilizará el poder calorífico inferior del combustible disponible en la Tabla 3 y su respectiva conversión a Joules.

Energía liberada

$$= 144,8 \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) \times 10.355 \left( \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times \left( \frac{4.186,8 \text{ Joules}}{1 \text{ kcal}} \right)$$

$$= 6.277.704.667 \left( \frac{\text{Joules}}{\text{año}} \right) = 0,00628 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right)$$

**d) Consumo de combustible en unidades de energía (TJ) por camiones diésel**

En primera instancia se debe calcular la masa de combustible quemada a partir de la cantidad de litros de combustible consumidos. Para ello, se utilizará como dato estándar la densidad del combustible presentada en el Tabla 3.

Masa de combustible quemada

$$= 2.000 \left( \frac{\text{km}}{\text{año}} \right) / 4 \left( \frac{\text{km}}{\text{litro}} \right) = 500 \left( \frac{\text{litros}}{\text{año}} \right).$$

$$= 500 \left( \frac{\text{litros}}{\text{año}} \right) \times 0,84 \left( \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ litros}} \right)$$

$$= 0,42 \left( \frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) = 420,0 \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)$$

Para la estimación de la energía consumida se utilizará el poder calorífico inferior del combustible disponible en la Tabla 3 y su respectiva conversión a Joules.

Energía liberada

$$= 420,0 \left( \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) \times 10.355 \left( \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times \left( \frac{4.186,8 \text{ Joules}}{1 \text{ kcal}} \right)$$

$$= 18.208.811.880 \left( \frac{\text{Joules}}{\text{año}} \right) = 0,01821 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right)$$

**e) Estimación GEI dado el consumo de diésel y gasolina de los distintos vehículos**

Tal como se indicó, el factor de emisión de los GEI para el transporte de pasajeros o carga depende del combustible y, en específico, de la energía liberada, por lo que a continuación se presenta la estimación de estos gases y su respectiva emisión de CO<sub>2</sub> equivalente, según los lineamientos de la Tabla 1. Los factores de emisión son extraídos desde la Tabla 4.

Considerando el consumo de **combustible diésel**, los factores de emisión para los distintos GEI y sus potenciales de calentamiento global (PCG), en la tabla siguiente se tienen las emisiones de los vehículos usados en la fase de construcción que consumen este combustible.

Energía liberada por consumo de combustible diésel o Nivel de actividad

$$= 0,00628 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right) + 0,01821 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right)$$

$$= 0,02449 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right)$$

Luego, la emisión de los GEI y su equivalencia en CO<sub>2</sub> es la siguiente:

GEI	FE (kg/TJ)	NA (TJ/año)	EMISIÓN GEI (kg/año)	PCA O PCG <sup>67</sup>	EMISIÓN CO <sub>2</sub> eq. (kg/año)
	A <sub>GEI</sub>	B	A <sub>GEI</sub> × B	C <sub>GEI</sub>	$\sum (A_{GEI} \times B) \times C_{GEI}$
CO <sub>2</sub>	74.100	0,02449	1.814,71	1	1.825,46
CH <sub>4</sub>	10,0		0,245	28	
N <sub>2</sub> O	0,6		0,015	265	

Considerando el consumo de **combustible gasolina**, los factores de emisión para los distintos GEI y sus PCG, en la tabla siguiente se tienen las emisiones de los vehículos usados en la fase de construcción que consumen este combustible.

Energía liberada por consumo de combustible gasolina o Nivel de actividad

$$= 0,01211 \left( \frac{\text{TJoules [TJ]}}{\text{año}} \right)$$

Luego, la emisión de los GEI y su equivalencia en CO<sub>2</sub> es la siguiente:

GEI	FE (kg/TJ)	Na (TJ/año)	EMISIÓN GEI (kg/año)	PCA O PCG	EMISIÓN CO <sub>2</sub> eq. (kg/año)
	A <sub>GEI</sub>	B	A <sub>GEI</sub> × B	C <sub>GEI</sub>	$\sum (A_{GEI} \times B) \times C_{GEI}$
CO <sub>2</sub>	69.300	0,01211	839,22	1	844,54
CH <sub>4</sub>	10,0		0,121	28	
N <sub>2</sub> O	0,6		0,008	265	

<sup>67</sup> Datos extraídos desde la Tabla 1.

### 3.2.2 Maquinaria fuera de ruta

Por maquinaria fuera de ruta (MFR) se entenderá aquella "maquinaria no destinada al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, apta para desplazarse sobre el suelo, con o sin carrocería, y que funciona en base a motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW e inferior o igual a 560 kW. Se excluyen los motores destinados a la propulsión de automotores, locomotoras u otros elementos y equipos ferroviarios que se desplacen sobre rieles, barcos, aeronaves; vehículos de recreación y maquinaria agrícola distinta a tractores"<sup>68</sup>. Además, para efectos de la presente Guía se entenderá como MFR a aquellos equipo industrial portátil con base en motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW e inferior o igual a 560 kW como, por ejemplo, bombas hormigoneras.

Para la estimación de emisiones de GEI de las MFR se propondrán dos acercamientos distintos. Ambos métodos son ampliamente utilizados, por lo que su utilización dependerá de la cantidad de información disponible. Por una parte, el primer método considera los consumos de combustibles de las maquinarias, mientras que el otro, y con base en las características de las maquinarias que se utilizarán, se realiza considerando una estimación del consumo de combustibles. Los métodos propuestos son los siguientes.

#### a) Combustible esperado

Al igual que las emisiones provenientes de una combustión estacionaria, las emisiones de las MFR se pueden obtener multiplicando el combustible o nivel de actividad esperado por un FE. De esta manera las emisiones se darán por la siguiente formula:

**Ecuación 4. Estimación de emisiones de GEI para las MFR**

$$E_{GEI,Combustible} = FE_{GEI,Combustible} \times Na_{Combustible}$$

Donde:

**E** : Emisiones por GEI según combustible.

**FE** : Factor de emisión por GEI según combustible. Factores disponibles en la Tabla 4.

**Na** : Nivel de actividad o consumo de combustible.

---

<sup>68</sup> Definición extraída desde el artículo 2º del Decreto 39, de 2021, del Ministerio de Medio Ambiente, que establece norma de emisión para maquinarias móviles.

### b) Combustible calculado

Otro acercamiento metodológico válido es estimar primero el nivel de actividad ( $Na$ ) con base en las características de la maquinaria y, luego, estimar las emisiones de manera convencional (nivel de actividad por FE). Para calcular el nivel de actividad de las MFR se tiene la siguiente ecuación.

#### Ecuación 5. Estimación del nivel de actividad o consumo de combustible para las MFR

$$Na_{i,j} = n_i \times h_i \times P_i \times FC_i \times TAF_i \times CC_{i,j}$$

Donde:

- $Na_{i,j}$  : Nivel de actividad o consumo de combustible j de la maquinaria i, en gramos por año cronológico.
- $n_i$  : Cantidad de maquinaria i.
- $h_i$  : Horas al año de utilización de la maquinaria i por año cronológico.
- $P_i$  : Potencia del tipo de maquinaria i, en kiloWatt (kW).
- $FC_i$  : Factor de carga de la maquinaria i, adimensional.
- $TAF_i$  : Factor de ajuste transiente de la maquinaria i, adimensional.
- $CC_{i,j}$  : Factor de combustible j en función de la potencia para la maquinaria i, en g/kWh.

De esta manera, el consumo de combustible estará dado en primer orden por la potencia y luego por la tecnología de la maquinaria. A continuación, se presentan los factores de consumo de combustible para la Ecuación 5.

**Tabla 6. Factor de combustible petróleo diésel en función de la potencia para maquinarias fuera de ruta**

POTENCIA (kW)	TECNOLOGÍA	CC <sub>i,j</sub>
<b>P &lt; 8</b>	1991 – Stage I	270
	Stage V	270
<b>8 ≤ P &lt; 19</b>	1991 – Stage I	270
	Stage V	270
<b>19 ≤ P &lt; 37</b>	1991 – Stage I	262
	Stage II	262
	Stage IIIA	262
	Stage V	262
<b>37 ≤ P &lt; 56</b>	1991 – Stage I	260
	Stage I	260
	Stage II	260
	Stage IIIA	260
	Stage IIIB	260
	Stage V	260
<b>56 ≤ P &lt; 75</b>	1991 – Stage I	260
	Stage I	260
	Stage II	260
	Stage IIIA	260
	Stage IIIB	260
	Stage IV	260
	Stage V	260
<b>75 ≤ P &lt; 130</b>	1991 – Stage I	255
	Stage I	255
	Stage II	255
	Stage IIIA	255
	Stage IIIB	255
	Stage IV	255
	Stage V	255

POTENCIA (kW)	TECNOLOGÍA	CC <sub>i,j</sub>
<b>130 ≤ P ≤ 560</b>	1991 – Stage I	250
	Stage I	250
	Stage II	250
	Stage IIIA	250
	Stage IIIB	250
	Stage IV	250
	Stage V	250
<b>560 &lt; P</b>	Stage V	250

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-6 de la sección 1.A.4 *Non road mobile machinery* de la EMEP/EEA, 2023.

Por otra parte, el factor de ajuste transiente (TAF<sub>i</sub>) será definido con base en el factor de carga, considerando para esto un valor (FC<sub>i</sub>) de 0,8 para cualquier maquinaria. A continuación, se presentan los factores para el cálculo de los niveles de actividad de la Ecuación 5.

**Tabla 7. Parámetros para la estimación del factor de ajuste transiente (TAF) según factor de carga (adimensional)**

TECNOLOGÍA	FACTOR DE CARGA	TAF <sub>i</sub>
Stage II ≤	FC <sub>i</sub> > 0,45	1,01
Stage IIIA		1,01
Stage IIIB >		1,00
Stage II ≤	0,25 ≤ FC <sub>i</sub> ≤ 0,45	1,095
Stage IIIA		1,095
Stage IIIB >		1,00
Stage II ≤	FC <sub>i</sub> < 0,25	1,18
Stage IIIA		1,18
Stage IIIB >		1,00

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-14 de la sección 1.A.4 *Non road mobile machinery* de la EMEP/EEA, 2023.

Más detalles sobre la metodología propuesta para este segundo acercamiento se detalla en la sección de MFR correspondiente a los forzantes climáticos de vida corta (véase sección 4.2.2).

Para facilitar la aplicabilidad de este segundo acercamiento y de la estimación de emisiones de la combustión en los motores de las MFR, es que a continuación se presenta un ejemplo ficticio.

### EJEMPLO APlicado PARA EL SEGUNDO ESCENARIO DE ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y ENERGÍA EN MFR

3.

Un proyecto que será sometido al SEIA necesitará durante la fase de construcción el uso de dos maquinarias: una excavadora y una bomba hormigonera. La información de estas maquinarias y su uso se presentan en la "Descripción de Proyecto" y Anexos correspondientes, y se resumen a continuación:

MAQUINARIA	CANTIDAD	POTENCIA (kW)	EDAD (año)	TECNOLOGÍA	FASE DE CONSTRUCCIÓN (uso)		HORAS DE USO SEGÚN CADA AÑO CRONOLÓGICO	
					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 1	AÑO 2
<b>Excavadora</b>	1	150	20	Stage II	X	-	1.000	-
<b>Bomba hormigonera</b>	1	50	20	Stage II	X	X	100	100

Dada esta información, es posible obtener el consumo de combustible anual ( $Na_{ij}$ ) de ambas maquinarias con base en la Ecuación 5.

$$Na_{ij} = n_i \times h_i \times P_i \times FC_i \times TAF_i \times CC_i$$

**Na<sub>ij</sub>** : Nivel de actividad o consumo de combustible j de la maquinaria i, en gramos por año cronológico.

Para esto, con los datos de descripción de proyecto se estiman los parámetros de la ecuación indicada y se obtiene el nivel de actividad o consumo de combustible. En el caso del factor de combustible en unidades de g/kWh se debe revisar los datos expuestos en la Tabla 6.

MAQUINARIA	AÑO	HORAS AL AÑO	POTENCIA (kW)	FC <sub>i</sub>	TAF <sub>i</sub>	CC <sub>i,j</sub> (g diésel/kWh)	NA <sub>i,j</sub> (g diésel/año)
<b>Excavadora</b>	1	1.000	150	0,8	1,01	250	30.300.000
	2	-	-	0,8	1,01	-	-
<b>Bomba hormigonera</b>	1	100	50	0,8	1,01	260	1.050.400
	2	100	50	0,8	1,01	260	1.050.400

A partir del cálculo del consumo de combustible es posible obtener las emisiones de GEI dado el tipo de combustible, convirtiendo la masa en unidades de energía (TJ) y multiplicando por los factores de emisión expuestos en la Tabla 4. Lo anterior se resume a continuación:

MAQUINARIA	AÑO	NA <sub>i,j</sub> (kg Diésel/año)	PODER CALORÍFICO (kcal/kg)	NA <sub>i,j</sub> (TJ Diésel/año)	EMISIÓNES (kg GEI/año)		
					CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Excavadora</b>	1	30.300	10.355	1,31	97.340,4	13,1	0,8
	2	-	10.355	0,00	0,0	0,0	0,0
<b>Bomba hormigonera</b>	1	1.050,4	10.355	0,05	3.374,5	0,5	0,0
	2	1.050,4	10.355	0,05	3.374,5	0,5	0,0

### 3.3 Procesos industriales y uso de productos

Los procesos industriales de transformación de materias primas por medios químicos o físicos y el uso de ciertos productos pueden ser considerados fuente de gases de efecto invernadero. En el contexto nacional, las actividades que destacan como fuentes de GEI son la industria de los minerales, la industria química, la industria de los metales y el uso de productos asociados a la refrigeración y a la aislación de equipos eléctricos. Las emisiones de esta categoría se pueden dividir en dos grandes grupos: por una parte, las emisiones provenientes de la producción de algún material y, por otra, las emisiones que ocurren por el uso directo de algún producto que contenga uno o unos GEI, por ejemplo, el uso de N<sub>2</sub>O como aerosol.

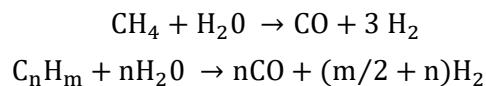
### 3.3.1 Procesos industriales

Para las siguientes actividades la metodología de estimación se basa en la ecuación general (Ecuación 1) que considera el nivel de actividad multiplicado por el factor de emisión de dicha actividad, a menos que se indique lo contrario.

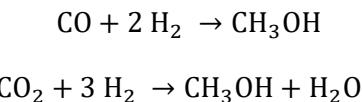
#### 3.3.1.1 Producción de metanol

El proceso más común de fabricación del metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) es la elaboración mediante "reformado convencional" (IPCC, 2006). Esta fabricación, en término generales, incluye los procesos de "reformado al vapor", donde el metano ( $\text{CH}_4$ ), contenido en el gas natural<sup>69</sup>, reacciona con vapor de agua generando monóxido de carbono (CO) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), tal como se presenta en la Ecuación 6; y el proceso de "síntesis del metanol", donde el monóxido de carbono (CO) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) reaccionan entre si para generar metanol, tal como se presenta en la Ecuación 7. Además, en la serie de pasos intermedios se genera una reacción conocida como "reacción de desplazamiento", donde el monóxido interactúa con el vapor de agua para generar dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), tal como se muestra en la Ecuación 8. Todas estas reacciones son parte del proceso conocido como "reformado convencional".

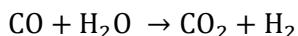
##### Ecuación 6. Reformado al vapor



##### Ecuación 7. Producción de metanol



##### Ecuación 8. Reacción de desplazamiento



Por lo tanto, las principales emisiones de GEI del proceso de "reformado convencional" corresponden al dióxido de carbono y a la cantidad de metano que no es consumida en el proceso. Los factores de emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  para esta actividad se muestran en la Tabla 8.

---

<sup>69</sup> El gas natural se compone de principalmente de metano, con más del 90%, y de otros gases, como etano y propano.

**Tabla 8.** Factores de emisión de GEI para producción de metanol según proceso de producción “reformado convencional”

GEI	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,67 [ton CO <sub>2</sub> /ton CH <sub>3</sub> OH]	Cuadro 3.12 Capítulo 3 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)
<b>CH<sub>4</sub></b>	2,3 [ton CH <sub>4</sub> /ton CH <sub>3</sub> OH]	Página 3.76 Capítulo 3 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)

El nivel de actividad de la fabricación de metanol está dado por la producción anual de este compuesto en toneladas métricas por año.

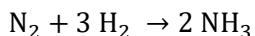
3.

### 3.3.1.2 Producción de amoniaco

El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es uno de los principales productos químicos industriales y el compuesto nitrogenado más importante producido. Este gas se utiliza directamente como fertilizante, en la obtención de pulpa de papel, en la fabricación de ácido nítrico y de nitratos, como refrigerante, entre otros usos.

El amoniaco se produce, principalmente, a través de un proceso conocido como *Haber-Bosch*, a partir de la reacción entre el nitrógeno (N<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), tal como se muestra en la Ecuación 9. El nitrógeno se extrae a partir del aire, ya sea mediante destilación o por un proceso de oxidación, mientras que el hidrógeno es producido a partir del gas natural mediante la reacción de “reformado de vapor” (véase Ecuación 6). Debido a la “reacción de desplazamiento” (véase Ecuación 8), generada producto de la presencia de los reactantes y condiciones necesarias, este proceso genera emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

#### Ecuación 9. Síntesis del amoniaco



En caso de que el proceso utilice directamente hidrógeno (H<sub>2</sub>) en vez de gas natural (metano) para la elaboración del amoniaco, no se generarán emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que no contempla procesos que puedan derivar en la presencia de este GEI. Lo anterior, no resta que otras acciones del proyecto o actividad puedan generar este gas, sin embargo, el proceso de elaboración del amoniaco no lo generaría. A continuación, en la Ecuación 10 se presenta la metodología para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de amoniaco.

**Ecuación 10. Metodología para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de amoniaco**

$$E_{CO_2} = AP \times FR \times CCF \times FOC \times (44/12) - R_{CO_2}$$

Donde:

- E<sub>CO<sub>2</sub></sub>** : Emisión de CO<sub>2</sub> en kilogramos por año cronológico.
- AP** : Producción de amoniaco (NH<sub>3</sub>) en toneladas por año cronológico.
- FR** : Requisito de combustibles por unidad de salida en GJ por tonelada de amoníaco producido (GJ/ton NH<sub>3</sub>).
- CCF** : Factor del contenido de carbono del combustible, en kilogramos de carbono por GJ.
- FOC** : Factor de oxidación de carbono del combustible, expresada en fracción.
- 44/12** : Relación estequiométrica CO<sub>2</sub>/C
- R<sub>CO<sub>2</sub></sub>** : Recuperación de CO<sub>2</sub> en proceso secundario (producción de urea), expresada en kilogramos por año cronológico.

A partir de esta ecuación, se puede obtener la emisión de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de amoniaco. Sin embargo, se recomienda el uso de los factores de emisión de la Tabla 9 por sobre la Ecuación 10, a menos que se cuente con el dato de la cantidad de recuperación del CO<sub>2</sub> (R<sub>CO<sub>2</sub></sub>) en el proceso secundario.

**Tabla 9.** Factores de emisión de GEI para la producción de amoníaco según proceso de producción de reformado

PROCESO DE PRODUCCIÓN	FR (GJ/ton NH <sub>3</sub> )	CCF (kg/GJ)	FOC	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
<b>Reformado convencional – gas natural</b>	30,2	15,3	1	<b>1,694 [kg CO<sub>2</sub>/ton NH<sub>3</sub>]</b>	Cuadro 3.1 Capítulo 3 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)
<b>Reformado por exceso de aire – gas natural</b>	29,7	15,3	1	<b>1,666 [kg CO<sub>2</sub>/ton NH<sub>3</sub>]</b>	
<b>Reformado autotérmico – gas natural</b>	30,2	15,3	1	<b>1,694 [kg CO<sub>2</sub>/ton NH<sub>3</sub>]</b>	
<b>Valor promedio</b>	37,5	15,3	1	<b>2,104 [kg CO<sub>2</sub>/ton NH<sub>3</sub>]</b>	

El nivel de actividad para el uso de los factores de emisión de la tabla anterior corresponde a la cantidad de amoníaco producido en toneladas anuales.

### 3.3.1.3 Producción de cemento

En la fabricación de cemento las emisiones de CO<sub>2</sub> sólo se generan durante la producción de *clinker*<sup>70</sup> (producto intermedio) que contempla la calcinación de piedra caliza<sup>71</sup> para producir óxido de calcio (CaO), las cuales generan CO<sub>2</sub> como residuo derivado. El factor de emisión utilizado para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de *clinker*, se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Factores de emisión de GEI para producción de cemento

GEI	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
CO <sub>2</sub>	0,52 [ton CO <sub>2</sub> /ton clinker]	Ecuación 2.4 Capítulo 2 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)

<sup>70</sup> Clinker es un silicato fundido residual formado intencionalmente durante la fundición de minerales metálicos o en horneados posteriores (por ejemplo, el acero) mediante la incorporación de agentes de escoriafacción (generalmente cal, piedra caliza o dolomita). Ref. IPCC, 2006.

<sup>71</sup> Roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

El nivel de actividad de la industria del cemento estará dado por la producción de *clinker* en toneladas por año. Si durante la producción de cemento sólo se utiliza *clinker* importado, la emisión de GEI para este proceso es nula, lo cual no resta que otros procesos pudiesen generar emisiones de este u otros GEI.

### 3.3.1.4 Producción de cal

La producción de cal considera, entre otros procesos, la calcinación de la piedra caliza para producir el óxido de calcio o “cal viva”, generando CO<sub>2</sub> como residuo derivado. El factor de emisión utilizado para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de cal se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Factores de emisión de GEI para producción de cal

GEI	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
CO <sub>2</sub>	0,75 [ton CO <sub>2</sub> /ton cal]	Tabla 2.4 Capítulo 2 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)

El nivel de actividad corresponde a la producción estimada de cal en toneladas por año.

### 3.3.1.5 Producción de vidrio

En la producción de vidrio las materias primas son carbonatos minerales que en el proceso de fundición conforman una fuente de producción primaria de CO<sub>2</sub>. El factor de emisión utilizado para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción de vidrio se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Factores de emisión de GEI para producción de vidrio

GEI	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
CO <sub>2</sub>	0,2 [ton CO <sub>2</sub> /ton vidrio]	Ecuación 2.13 Capítulo 2 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)

El nivel de actividad considera no sólo la producción total de vidrio estimada en toneladas por año, sino también el porcentaje de vidrio reciclado, para lo cual se recomienda utilizar el valor por defecto de 40%<sup>72</sup> de vidrio reciclado, de acuerdo con la siguiente ecuación.

<sup>72</sup> 0,4 es el valor más bajo del intervalo de proporción entregado en el punto 2.4.1 de las Directrices del IPCC, 2006.

**Ecuación 11.** Metodología para el cálculo de datos de actividad para la producción de vidrio con reciclaje

$$Na_{\text{vidrio}} = \text{Producción anual vidrio [ton/año]} \times (1 - X)$$

Donde:

**Na** : Nivel o datos de actividad por combustible.

**X** : Factor o fracción del vidrio reciclado. Valor por defecto igual a 0,4.

El factor 0,4 puede ser modificado en el caso de contar con información sobre el porcentaje de vidrio reciclado que se utilizará en el proceso.

3.

### 3.3.1.6 Producción de ácido nítrico

El ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) se utiliza principalmente como materia prima en la fabricación de fertilizantes nitrogenados. Puede emplearse también en la producción de ácido adípico y de explosivos, para el grabado de metales y en el procesamiento de metales ferrosos (IPCC, 2006).

Durante la producción de este ácido se genera óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) como un producto derivado no intencional de la oxidación catalítica a altas temperaturas del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). El factor de emisión por defecto para esta actividad depende de la tecnología de la planta, tal como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Factores de emisión de GEI para producción de ácido nítrico según proceso de producción

PROCESO DE PRODUCCIÓN	GEI	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
Plantas con reducción catalítica no selectiva (NSCR <sup>73</sup> , en inglés)	$\text{N}_2\text{O}$	2 [kg $\text{N}_2\text{O}/\text{ton HNO}_3$ ]	Cuadro 3.3 Capítulo 3 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)
Plantas con destrucción de $\text{N}_2\text{O}$ integrada al proceso o al gas de cola		2,5 [kg $\text{N}_2\text{O}/\text{ton HNO}_3$ ]	
Plantas a presión atmosférica (baja presión)		5 [kg $\text{N}_2\text{O}/\text{ton HNO}_3$ ]	
Plantas de combustión a presión intermedia		7 [kg $\text{N}_2\text{O}/\text{ton HNO}_3$ ]	
Plantas a alta presión		9 [kg $\text{N}_2\text{O}/\text{ton HNO}_3$ ]	

**73** Del inglés; *Non-Selective Catalytic Reduction*.

El nivel de actividad de la fabricación de ácido nítrico es la producción anual de este compuesto en toneladas por año o en su defecto, la capacidad productiva anual de la planta por instalar.

### 3.3.1.7 Producción de etileno

El factor de emisión utilizado para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en la producción de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Factores de emisión de GEI para producción de etileno

GEI	FACTOR DE EMISIÓN GENERAL (FE <sub>GEI</sub> )	FACTOR DE EMISIÓN CORREGIDO	FUENTE
CO <sub>2</sub>	A = 0,95 [ton CO <sub>2</sub> /ton C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]	FE <sub>CO<sub>2</sub></sub> = A × GAF	Cuadro 3.14 Capítulo 3 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)
CH <sub>4</sub>	B = 6 [ton CH <sub>4</sub> /ton C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ]	FE <sub>CH<sub>4</sub></sub> = B × GAF	Página 3.16 Capítulo 3 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)

Donde:

**GAF** : Factor de ajuste geográfico. Valor por defecto igual a 1.

El nivel de actividad corresponde a la producción anual de etileno en toneladas por año.

### 3.3.1.8 Producción de hierro y acero

La industria de hierro y acero conforma una fuente de emisión de CO<sub>2</sub> como residuo derivado, debido al uso del carbono como agente reductor para convertir el mineral de hierro en hierro metálico. Para estimar la emisión de esta actividad se debe considerar el proceso a través del cual se obtienen los productos, tal como se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Factores de emisión de GEI para producción de hierro y acero por tipo de proceso productivo

GEI	PROCESO PRODUCTIVO	FACTOR DE EMISIÓN GENERAL	FUENTE
CO <sub>2</sub>	Producción de pellets	0,03 [ton CO <sub>2</sub> /ton hierro producido]	Cuadro 4.1 Capítulo 4 del Volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006)
	Horno básico de oxígeno (BOF)	1,46 [ton CO <sub>2</sub> /ton acero producido]	
	Horno de arco eléctrico (EAF)	0,08 [ton CO <sub>2</sub> /ton acero producido]	

El nivel de actividad estará dado por la cantidad de hierro o acero en toneladas generado anualmente, según cada proceso productivo indicados en la Tabla 15.

3.

### 3.3.2 Uso de producto

#### 3.3.2.1 Uso de SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos

Dada las propiedades fisicoquímicas del hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), este gas se utiliza como aislante eléctrico para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. Las estaciones que cuentan con estas tecnologías se denominan Subestaciones Aisladas por Gas (GIS<sup>74</sup>, por su sigla en inglés), generando fugas de este GEI en cada etapa del ciclo de vida de los equipos instalados en las subestaciones de distribución de electricidad. Los equipos en particular que producen emisiones son las barras y los interruptores, y las etapas que se consideran para la estimación de emisiones son las siguientes:

- **Instalación:** Emisiones que ocurren en la carga inicial del equipo, enmarcadas en el primer año.
- **Operación:** Emisiones que ocurren producto de mantenciones, fugas o averías. Estas emisiones ocurren durante la fase de operación.
- **Fin de vida útil del equipo:** Emisiones que ocurren cuando los equipos son desechados.

El nivel de actividad considera la capacidad nominal de SF<sub>6</sub> en equipos instalados, en equipos en operación y en equipos que han cumplido su vida útil y son retirados, en unidades de (kg SF<sub>6</sub>/año). La cantidad de SF<sub>6</sub> que utilizan los equipos viene dada por la tensión (o voltaje) de estos, por lo tanto, los equipos deben ser diferenciados por media o alta tensión (MV y HV, respectivamente), dado que los factores de emisión a utilizar dependen de estas definiciones de tensión.

<sup>74</sup> En inglés; *gas-insulated switchgear*.

Para los efectos de esta guía, se definirá como media tensión (MV) a los interruptores que cuenten con un voltaje menor o igual a 52 kV y tensión alta (HV) a los que cuenten con un voltaje mayor a 52 kV. Para las subestaciones (barras) se consideran MV a las subestaciones que cuenten con un voltaje menor 100 kV, y HV a las subestaciones que cuenten con un voltaje mayor a 100 kV, siguiendo los lineamientos del INGEI de Chile. Los factores de emisión de SF<sub>6</sub> a usar por defecto, según tensión de los equipos, se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16. Factor de emisión de SF<sub>6</sub> según tensión de los equipos<sup>75</sup>**

TENSIÓN DE LOS EQUIPOS	NIVEL DE ACTIVIDAD (kg SF <sub>6</sub> /EQUIPO)	FACTOR DE EMISIÓN POR ETAPA DE LA VIDA ÚTIL DEL EQUIPO (FRACCIÓN)		
		INSTALACIÓN	OPERACIÓN	CIERRE
Interruptor GIS (MV)	0,6	0,070	0,002	0,93
Interruptor GIS (HV)	50	0,085	0,026	0,95
Barras GIS (MV)	50	0,070	0,002	0,93
Barras GIS (HV)	500	0,085	0,026	0,95

Fuente: elaboración propia con base en el capítulo 8 del volumen 3 de las Directrices del IPCC (2006).

Cabe aclarar que este compuesto (SF<sub>6</sub>) no es utilizado en las líneas de trasmisión eléctrica (LTE), tanto de media como de alta tensión, ya que no utilizan estos aislantes eléctricos. El uso de este gas está enfocado en las subestaciones de transmisión eléctrica, específicamente, en los interruptores y barras, como aislante térmico.

A continuación, se presenta un **ejemplo ficticio** de la estimación de emisiones que podría generar la instalación de una subestación eléctrica.

#### **EJEMPLO APLICADO PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE GEI PARA UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

Se considera la instalación de una subestación con una tensión de 220 kV. Esta estación cuenta con tecnología GIS y posee, además, 5 interruptores con la misma tecnología con una tensión de 245 kV. Se estimarán las emisiones durante cinco años desde la instalación de la estación. A continuación, se muestra la metodología de cálculo.

- Subestación de 220 kV: 500 kg de SF<sub>6</sub>.
- Cinco (5) interruptores de 245 kV: 50 kg de SF<sub>6</sub>.

<sup>75</sup> Se utiliza factores de emisión de equipos europeos considerando datos de Aduana respecto a la importación. Si los equipos provienen de otra región a las mencionadas, utilizar factor de emisión europeo.

AÑO	INSTALACIÓN SUBESTACIÓN (0,085)	MANTENCIÓN SUBESTACIÓN (0,026)	FIN DE VIDA SUBESTACIÓN (0,95)	INSTALACIÓN INTERRUPTOR (0,085)	MANTENCIÓN INTERRUPTOR (0,026)	FIN DE VIDA INTERRUPTOR (0,95)	EMISIÓN $SF_6$ (kg/ año)
	500 kg $SF_6$			50 x 5 kg $SF_6$			
<b>1</b>	500 x 0,085	500 x 0,026	0	250 x 0,085	250 x 0,026	0	83,25
<b>2</b>	0	500 x 0,026	0		250 x 0,026	0	19,5
<b>3</b>	0	500 x 0,026	0		250 x 0,026	0	19,5
<b>4</b>	0	500 x 0,026	0		250 x 0,026	0	19,5
<b>5</b>	0	500 x 0,026	0		250 x 0,026	0	19,5

De esta manera, las emisiones de  $SF_6$  por la instalación y operación de una subestación de 220 kV y 5 interruptores de 245 kV, durante el primer año es de 83,25 kg, mientras que los años de operación será de 19,5 kg.

### 3.3.2.2 Uso de $N_2O$

Las emisiones por evaporación de óxido nitroso ( $N_2O$ ) pueden producirse a partir de varios tipos de uso de los productos como, por ejemplo:

- Usos como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia (crema batida en latas a presión, entre otros).
- Agente oxidante utilizado en la fabricación de semiconductores.
- La producción de azida sódica ( $NaN_3$ ), que se usa para inflar las bolsas de aire de los automóviles (airbag).

Las emisiones directas de  $N_2O$  están dadas por el nivel de actividad, que corresponde al consumo de este gas en [kg  $N_2O$ /año].

The background image shows a panoramic view of a city, likely Santiago, Chile, with its iconic modern skyscrapers like the Costanera Center and the Titanium Tower. In the distance, the Andes mountain range is visible under a clear blue sky.

4.

## ESTIMACIÓN EMISIONES DE FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA

## 4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FORZANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA

A continuación, se presentan metodologías y consideraciones para la estimación de FCVC. Estos forzantes climáticos se caracterizan por su alteración en el balance radiativo y por su corto tiempo de vida en la atmósfera, o de menor permanencia que los GEI, lo que se traduce en que su impacto es de carácter local.

Para esta sección se adoptaron las metodologías propuestas para la estimación de emisiones presentadas por la SEREMI del Medio Ambiente de la Región Metropolitana<sup>76</sup>, incluyendo factores de emisión para la estimación de carbono negro (BC, por su sigla en inglés) junto con otras consideraciones generales de referencias validadas.

### 4.1 Combustión estacionaria

Las emisiones de FCVC provenientes de la combustión estacionaria tienen, en su gran mayoría, origen en grupos electrógenos o equipos de combustión como calderas, hornos, entre otros. Existen otros usos que pueden ser categorizados como combustión estacionaria como, por ejemplo, el uso de combustibles con fines de calefacción. Si bien las fuentes de combustión estacionaria son distintas, la estimación se puede agrupar acorde una metodología generalizada, tal como se presenta en la siguiente ecuación:

**Ecuación 12. Metodología de estimación de emisiones de FCVC para fuentes estacionarias**

$$E_{FCVC,Combustible} = FE_{FCVC,Combustible} \times Na_{Combustible} \times (FRAC)$$

Donde:

- E** : Emisiones por FCVC según combustible.
- FE** : Factor de emisión por FCVC según combustible.
- Na** : Nivel o datos de actividad por combustible.
- FRAC** : Porcentaje másico de carbono negro (BC) aplicable a la estimación de MP2,5.

<sup>76</sup> "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana", elaborada en el año 2020, por la Subsecretaría Regional Ministerial (Seremi) del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago, la cual tiene como referencias internacionales aquellas citadas en la bibliografía de esta Guía. Disponible en el sitio web de calidad del aire de la Región Metropolitana: <https://airerm.mma.gob.cl/>

### 4.1.1 Grupos electrógenos

Para los grupos electrógenos se debe considerar como nivel de actividad el consumo de combustible por año cronológico. La Tabla 17 muestra los FE disponibles para el cálculo de emisiones atmosféricas de este tipo de fuentes de combustión según la potencia del motor. En el caso de los factores para los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) se debe considerar el porcentaje de azufre (S) del combustible, sin embargo, cuando no se cuente con ese dato se debe considerar el valor de la igualdad presentado en la tabla. La emisión del BC se expresa como porcentaje máscio del MP2,5.

**Tabla 17. Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes del uso de grupos electrógenos**

COMBUSTIBLE (UNIDAD FE*)	DESCRIPCIÓN MOTOR	MP10	MP2,5	BC (% DE MP2,5)	$\text{NO}_x$	$\text{SO}_x^{77}$	CO	COVDM
Gasolina (g/kg combustible)	Potencia menor a 600 HP o 447 kW (a)	2,02	2,02	56	32,84	1,69	19,95	61,06
Diésel (g/kg combustible)		6,08	6,08	56	86,47	5,69	18,63	7,06
Diésel (g/kg combustible)	Potencia mayor a 600 HP o 447 kW (b)	1,12	0,94	56	62,74	$19,8 \times S$ $= 0,0297$	16,67	1,61
Gas natural (g/m <sup>3</sup> combustible)	Motor a 2 tiempos con mezcla pobre (c)	0,65	0,65	4	53,27	0,01	6,49	2,02
Gas natural (g/m <sup>3</sup> combustible)	Motor a 4 tiempos con mezcla pobre (c)	0,001	0,001	4	68,56	0,01	5,33	1,98
Gas natural (g/m <sup>3</sup> combustible)	Motor a 4 tiempos con mezcla rica (c)	0,16	0,16	4	37,13	0,01	62,51	0,50

(a): EPA, AP-42, año 2025. Capítulo 3.3, *Stationary Internal Combustion Sources*, Sección Gasoline And Diesel Industrial Engines, Tabla 3.3-1.

(b): EPA, AP-42, año 2025. Capítulo 3.4, *Stationary Internal Combustion Sources*, Sección Large Stationary Diesel and All Stationary Dual-fuel Engines, Tablas 3.4-1 y 3.4-2.

(c): EPA, AP-42, año 2024. Capítulo 3.2, *Stationary Internal Combustion Sources*, Sección Natural Gas-fired Reciprocating Engines, Tablas 3.2-1, 3.2-2 y 3.2-3.

S: Contenido de azufre del combustible (% \* 100, por ejemplo, para un 1% de azufre, el factor S es 1).

\*: Para la conversión de unidades de los factores de emisión se utilizaron las densidades y poderes caloríficos presentadas en la Tabla 3 de la presente guía.

Fuente: elaboración propia con base en la AP-42 de la EPA.

<sup>77</sup> Para efectos de la presente Guía se considerará que todo los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) corresponden a  $\text{SO}_2$ .

## EJEMPLO APLICADO PARA LA ESTIMACIÓN DEL CARBONO NEGRO (BC)

A continuación, considerando los antecedentes de la sección 4.1.1 de esta guía, se desarrolla un ejemplo ficticio de estimación del carbono negro (BC) para el caso del uso de un grupo electrógeno.

Durante la fase de construcción del proyecto o actividad se utilizará un grupo electrógeno de respaldo en caso de corte del suministro eléctrico durante el primer año, el cual usará Diésel como combustible y tendrá una potencia inferior a los 600 HP. Utilizar este grupo electrógeno como respaldo significará un consumo de 200 litros, lo que transformado en masa significa un gasto igual a 84 kilogramos, usando la densidad presentada en la Tabla 3.

Con base en estos antecedentes y utilizando la Tabla 17 se puede estimar la emisión de carbono negro del presente ejemplo aplicado y ficticio.

$$E_{BC,Diesel} = FE_{MP2,5,Combustible} \times Na_{Combustible} \times (FRAC)$$

$$E_{BC,Diesel} = 6,08 \left( \frac{g}{kg} \right) \times 84 \left( \frac{kg}{año} \right) \times 56\%$$

$$E_{BC,Diesel} = 286 \left( \frac{g}{año} \right) = 0,000286 \left( \frac{ton}{año} \right)$$

4.

### 4.1.2 Calderas

Para la estimación de emisiones de FCVC en calderas se debe considerar el consumo de combustible y, en algunos casos, la potencia del equipo. La estimación sigue la metodología presentada en la Ecuación 12, incluyendo la forma de estimar las emisiones de BC, siendo el nivel de actividad la cantidad de combustible consumido por año cronológico.

La Tabla 18 muestra los FE disponibles para la estimación de emisiones por el uso de combustibles en calderas. Los factores para  $SO_x$  y, en algunos casos, para material particulado (MP10 o MP2,5) requieren el porcentaje de azufre (S) del combustible, sin embargo, en caso de no contar con este dato se debe utilizar el valor de la igualdad presentado en esta tabla.

**Tabla 18.** Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes del uso de calderas

COMBUSTIBLE (UNIDAD FE*)	POTENCIA	MP10	MP2,5	BC (% DE MP2,5)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub> <sup>78</sup>	CO	COVDM
<b>Gas natural (g/kg combustible)</b>	Mayor a 29,31 MW <b>(a)</b>		0,16	4,00	5,91	0,01	1,77	0,12
<b>Gas natural (g/kg combustible)</b>	Menor a 29,31 MW <b>(a)</b>		0,16	4,00	2,11	0,01	1,77	0,12
<b>Petróleo N°6 (g/kg combustible)</b>	Mayor a 29,31 MW <b>(b)</b>	1,165 x S + 0,4083 = 0,4100475		56,00	5,96	20 x S = 0,03	0,63	0,04
<b>Petróleo N°6 (g/kg combustible)</b>	Menor a 29,31 MW <b>(b)</b>	1,165 x S + 0,4083 = 0,4100475		56,00	6,97	20 x S = 0,03	0,63	0,04
<b>Petróleo N°5 (g/kg combustible)</b>	Mayor a 29,31 MW <b>(b)</b>	1,188 x S + 0,4162 = 0,417982		56,00	6,08	20,29 x S = 0,030435	0,65	0,04
<b>Petróleo N°5 (g/kg combustible)</b>	Menor a 29,31 MW <b>(b)</b>	1,188 x S + 0,4162 = 0,417982		56,00	7,11	20,29 x S = 0,030435	0,65	0,04
<b>Diésel (g/kg combustible)</b>	Independe <b>(b)</b>		0,29	56,00	3,42	20,26 x S = 0,03039	0,71	0,03
<b>Kerosene (g/kg combustible)</b>	Independe <b>(b)</b>	0,15	0,036 x S = 0,00018	56,00	1,48	21,01	0,74	0,03
<b>Carbón (g/kg combustible)</b>	Independe <b>(c)</b>	8,35	2,18	6,40	9,98	17,24 x S = 13,792	0,23	-
<b>Leña (g/kg combustible)</b>	Independe <b>(d)</b>	2,26	1,95	28,00	3,08	0,16	3,77	0,11
<b>GLP Butano (g/kg combustible)</b>	Independe <b>(e)</b>		0,17	56,00	3,27	0,020 x S = 0,0003	1,83	-
<b>GLP Propano (g/kg combustible)</b>	Independe <b>(e)</b>		0,15	56,00	2,83	0,022 x S = 0,00033	1,63	-

**(a):** EPA, AP-42, año 1998. Capítulo 1.4, *External Combustion Sources, Sección Natural Gas Combustion*, Tablas 1.4-1 y 1.4-2. Se asume MP10=MP2,5.

**(b):** EPA, AP-42, año 2010. Capítulo 1.3, *External Combustion Sources, Sección Fuel Oil Combustion*, Tablas: 1.3-1, 1.3-3 y 1.3-6. Se asume MP10=MP2,5. Además, para efectos de esta Guía se considera un contenido de azufre de 15 ppm en el diésel, y 50 ppm en el kerosene.

**(c):** EPA, AP-42, año 1998. Capítulo 1.1, *External Combustion Sources, Sección Bituminous and Subbituminous Coal Combustion*, Tablas: 1.1-3, 1.1-4 y 1.1-6. Para efectos de esta Guía, se considera un contenido de azufre de 0,8% en el carbón.

**(d):** EPA, AP-42, año 2022. Capítulo 1.6, *External Combustion Sources, Sección Wood Residue Combustion in Boilers*, Tablas: 1.6-1, 1.6-2 y 1.6-3.

**(e):** EPA, AP-42, año 2025. Capítulo 1.5, *External Combustion Sources, Sección Liquified Petroleum Gas Combustion*, Tabla 1.5-1. Se asume MP10=MP2,5. Para efectos de esta Guía, se considera un contenido de azufre de 150 ppm en el GLP.

\* Para la conversión de unidades de los factores de emisión se utilizaron las densidades y poderes caloríficos presentadas en la Tabla 3 de la presente guía.

Fuente: elaboración propia con base en la EPA.

### 4.1.3 Otros procesos

Como se indicó, existen otros procesos que pueden ser relacionados con actividades de combustión estacionaria, diferentes a los grupos electrógenos o calderas. Para efectos de la presente Guía, estos procesos se denominarán “otros procesos”. Para estos casos, se recomienda utilizar información genérica tomando como referencia la Ecuación 12 y los siguientes factores de emisión.

**Tabla 19.** Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes de otros procesos

COMBUSTIBLES	FACTORES DE EMISIÓN (g/GJ)						
	MP10	MP2,5	BC (% DE MP2,5)	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	COVDM
<b>Carbón</b>	117	108	6,4	173	900	931	88,8
<b>Gas Natural</b>	0,78	0,78	4,0	74	0,67	29	23
<b>Gas Licuado de Petróleo</b>							
<b>Petróleo Diésel</b>	20	20	56	513	47	66	25
<b>Gasolina Motor</b>							
<b>Kerosene</b>							
<b>Nafta</b>							
<b>Biomasa</b>	143	140	28	91	11	570	300

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-2, Tabla 3-3, Tabla 3-4 y Tabla 3-5 de la sección 1.A.2 *Combustion in manufacturing industries and construction* de la EMEP/EEA, 2023.

4.

## 4.2 Combustión móvil

Al igual que las emisiones de GEI, las emisiones de FCVC provenientes de la combustión móvil son aquellas emitidas a través del sistema de escape de gases y partículas de aquellos vehículos motorizados que utilizan distintos tipos de combustibles.

### 4.2.1 Combustión interna de vehículos

Las emisiones de FCVC producto de la combustión interna de los motores de los vehículos dependen del tipo o categoría (pasajeros o carga) y del estándar de emisión o tecnología. De esta forma, la estimación de emisiones deberá considerar como base esta información, la cual se utilizará para seleccionar los FE adecuados. Para la estimación de emisiones se puede utilizar la Ecuación 12 y los FE presentados en la Tabla 20, además, el nivel de actividad corresponderá a los kilómetros anuales recorridos por cada tipo de vehículo del proyecto.

**Tabla 20.** Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes la combustión interna de vehículos

TIPO	VEHÍCULO	TECNOLOGÍA <sup>79</sup>	MP10 (g/km)	MP2,5 (g/km)	BC (% DE MP2,5)	NO <sub>x</sub> (g/km)	SO <sub>2</sub> (g/km)	NH <sub>3</sub> (g/km)	CO (g/km)	COVDM (g/km)
4.  Pasajero	Gasolina <0,8 L	Euro 5	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0470	0,0015	0,013	1,0420	0,6250
		Euro 6	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0320	0,0015	0,013	0,3970	0,5490
	Gasolina 0,8 – 1,4 L	Euro 5	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0470	0,0017	0,014	1,0420	0,2100
		Euro 6	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0320	0,0017	0,014	0,3970	0,0910
	Gasolina 1,4 - 2,0 L	Euro 5	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0470	0,0020	0,014	0,9460	0,1630
		Euro 6	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0320	0,0020	0,014	0,3970	0,0550
	Gasolina > 2,0 L	Euro 5	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	9,59 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0410	0,0026	0,015	0,7570	0,1220
		Euro 6	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0320	0,0026	0,014	0,3970	0,0450
	Diésel < 1,4 L	Euro 5	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	10	0,5620	0,0011	0,002	0,0350	0,0010
		Euro 6	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	20	0,5070	0,0011	0,002	0,0520	0,0010
	Diésel 1,4 -2,0 L	Euro 5	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	10	0,5620	0,0011	0,002	0,0350	0,0010
		Euro 6	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	20	0,5070	0,0011	0,007	0,0520	0,0010
	Diésel > 2,0 L	Euro 5	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	10	0,5620	0,0022	0,002	0,0350	0,0010
		Euro 6	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	20	0,5070	0,0011	0,007	0,0520	0,0010
	GLP	Euro 5	0	0	0	0,0540	0,0017	0,015	0,9400	0,1000
		Euro 6	0	0	0	0,0200	0,0017	0,014	0,1910	0,1000
	GNC <sup>80</sup>	Euro 4 ≥	6,18 x 10 <sup>-4</sup>	6,18 x 10 <sup>-4</sup>	S/I <sup>81</sup>	0,0640	0,0019	0,031	0,9400	0,0360

<sup>79</sup> Si se utiliza una tecnología más antigua que las señaladas en esta tabla, se recomienda revisar la fuente para obtener aquellos factores de emisión correspondientes.

<sup>80</sup> Gas natural comprimido.

<sup>81</sup> S/I: Sin información.

TIPO	VEHÍCULO	TECNOLOGÍA <sup>79</sup>	MP10 (g/km)	MP2,5 (g/km)	BC (% DE MP2,5)	NO <sub>x</sub> (g/km)	SO <sub>2</sub> (g/km)	NH <sub>3</sub> (g/km)	CO (g/km)	COVDM (g/km)
Comercial	Gasolina <3,5 t	Euro 5	7,94 x 10 <sup>-4</sup>	7,94 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0430	0,0021	0,015	2,0070	0,1290
		Euro 6	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	4,74 x 10 <sup>-4</sup>	15	0,0230	0,0021	0,014	0,7700	0,0340
	Diésel <3,5 t	Euro 5	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	2,01 x 10 <sup>-4</sup>	10	1,3740	0,0024	0,002	0	0
		Euro 6	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	1,93 x 10 <sup>-4</sup>	20	0,1080	0,0024	0,007	0	0
Pesados	Diésel < 7,5 t	Euro 5	1,37 x 10 <sup>-2</sup>	1,37 x 10 <sup>-4</sup>	75	1,1900	0,030	0,011	0,5480	0,0160
		Euro 6	1,37 x 10 <sup>-3</sup>	1,37 x 10 <sup>-3</sup>	15	0,1670	0,030	0,009	0,0530	0,0100
	Diésel 7,5 - 16 t	Euro 5	2,01 x 10 <sup>-2</sup>	2,01 x 10 <sup>-2</sup>	75	2,0410	0,0047	0,011	0,8740	0,0260
		Euro 6	2,00 x 10 <sup>-3</sup>	2,00 x 10 <sup>-3</sup>	15	0,2640	0,0047	0,009	0,0990	0,0180
	Diésel 16 - 32 t	Euro 5	3,19 x 10 <sup>-2</sup>	3,19 x 10 <sup>-2</sup>	75	3,3970	0,0063	0,011	1,3670	1,0430
		Euro 6	3,17 x 10 <sup>-3</sup>	3,17 x 10 <sup>-3</sup>	15	0,4520	0,0063	0,009	0,1660	0,0280
	Diésel > 32 [t]	Euro 5	3,63 x 10 <sup>-2</sup>	3,63 x 10 <sup>-2</sup>	75	3,6150	0,0075	0,011	1,6170	0,0480
		Euro 6	3,59 x 10 <sup>-3</sup>	3,59 x 10 <sup>-3</sup>	15	0,4450	0,0075	0,009	0,1590	0,0320
Buses	Bus urbano	Euro 5	7,92 x 10 <sup>-2</sup>	7,92 x 10 <sup>-2</sup>	75	6,1700	0,0090	0,011	2,0550	0,0540
		Euro 6	7,61 x 10 <sup>-3</sup>	7,61 x 10 <sup>-3</sup>	15	1,3430	0,0090	0,009	0,4210	0,0370
	Bus interurbano	Euro 5	4,66 x 10 <sup>-2</sup>	4,66 x 10 <sup>-2</sup>	75	4,3780	0,0074	0,011	1,5720	0,0540
		Euro 6	4,62 x 10 <sup>-3</sup>	4,62 x 10 <sup>-3</sup>	15	0,6090	0,0074	0,009	0,2220	0,0370

Fuente: elaboración propia con base en las Tablas 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21, 3-22, 3-23, 3-24 y 3-92 de la sección 1.A.3.b.i-iv de la EMEP/EEA, 2023.

## 4.2.2 Maquinaria fuera de ruta

Al igual que la combustión interna de los motores de los vehículos, la estimación de emisiones de FCVC provenientes de las maquinarias fuera de ruta (MFR) debe considerar una serie de factores que, en primera instancia, responden a los ciclos de operación de estas mismas, y en segundo orden, a la antigüedad o tipo de maquinaria. Para la estimación de emisiones atmosféricas provenientes de la MFR se debe considerar la Ecuación 13.

### Ecuación 13. Metodología de estimación de emisiones de FCVC provenientes de las MFR

$$E_{ij} = n_i \times h_i \times P_i \times (1 + FD_i) \times FC_i \times TAF_i \times FE_{ij}$$

Donde:

4.

- $E_{ij}$**  : Emisiones del contaminante j respecto a la maquinaria i, en gramos por año cronológico.
- $n_i$**  : Cantidad de maquinaria i.
- $h_i$**  : Horas al año de utilización de la maquinaria i por año cronológico.
- $P_i$**  : Potencia del tipo de maquinaria i, en kiloWatt (kW).
- $FD_i$**  : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.
- $FC_i$**  : Factor de carga de la maquinaria i, adimensional.
- $TAF_i$**  : Factor de ajuste transiente de la maquinaria i, adimensional.
- $FE_{ij}$**  : Factor de emisión del contaminante j para la maquinaria i, en g/kWh.

Los valores de FE para diferentes maquinarias son presentados en la Tabla 21 en dependencia a su potencia y tipo de tecnología. Cabe indicar que estos factores son válidos para maquinarias que utilicen Petróleo Diésel (Diésel) como combustible. Para la obtención de factores de emisión para otro tipo de combustible se sugiere revisar referencias como "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook", elaborada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EMEP/EEA), "AP-42: Compilation of Air Emissions Factors" de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, entre otras.

**Tabla 21.** Factores de emisión para la estimación de emisiones de FCVC provenientes de la maquinaria fuera de ruta que utilizan diésel como combustible

POTENCIA (kW)	TECNOLOGÍA	MP10 (g/kWh)	MP2,5 (g/kWh)	BC (% DE MP2,5)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	SO <sub>x</sub> (g/kWh)	NH <sub>3</sub> (g/kWh)	CO (g/kWh)	COVDM (g/kWh)
<b>P &lt; 8</b>	1991 – Stage I	1,600	1,600	55	11,20	0,0081	0,002	5,000	2,500
	Stage V	0,400	0,400	48	6,080	0,0081	0,002	4,800	0,680
<b>8 ≤ P &lt; 19</b>	1991 – Stage I	1,600	1,600	55	11,20	0,0081	0,002	5,000	2,500
	Stage V	0,400	0,400	48	6,080	0,0081	0,002	3,960	0,680
<b>19 ≤ P &lt; 37</b>	1991 – Stage I	1,400	1,400	55	9,800	0,0079	0,002	4,500	1,800
	Stage II	0,400	0,400	80	6,500	0,0079	0,002	2,200	0,600
	Stage IIIA	0,400	0,400	80	6,080	0,0079	0,002	2,200	0,600
	Stage V	0,015	0,015	48	3,810	0,0079	0,002	2,200	0,420
<b>37 ≤ P &lt; 56</b>	1991 – Stage I	0,800	0,800	55	11,50	0,0078	0,002	4,500	1,500
	Stage I	0,400	0,400	80	7,700	0,0078	0,002	2,200	0,600
	Stage II	0,200	0,200	80	5,500	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIA	0,200	0,200	80	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIB	0,025	0,025	80	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage V	0,015	0,015	48	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,280
<b>56 ≤ P &lt; 75</b>	1991 – Stage I	0,800	0,800	55	11,50	0,0078	0,002	4,500	1,500
	Stage I	0,400	0,400	80	7,700	0,0078	0,002	2,200	0,600
	Stage II	0,200	0,200	80	5,500	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIA	0,200	0,200	80	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIB	0,025	0,025	80	2,970	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage IV	0,025	0,025	80	0,400	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage V	0,015	0,015	48	0,400	0,0078	0,002	2,200	0,130

4.

POTENCIA (kW)	TECNOLOGÍA	MP10 (g/kWh)	MP2,5 (g/kWh)	BC (% DE MP2,5)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	SO <sub>x</sub> (g/kWh)	NH <sub>3</sub> (g/kWh)	CO (g/kWh)	COVDM (g/kWh)
<b>75 ≤ P &lt; 130</b>	1991 – Stage I	0,400	0,400	55	13,30	0,0077	0,002	3,500	1,200
	Stage I	0,200	0,200	80	8,100	0,0077	0,002	1,500	0,400
	Stage II	0,200	0,200	80	5,200	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,200	0,200	80	3,240	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	80	2,970	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage IV	0,025	0,025	80	0,400	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	48	0,400	0,0077	0,002	1,500	0,130
<b>130 ≤ P ≤ 560</b>	1991 – Stage I	0,400	0,400	55	11,20	0,0075	0,002	2,500	0,500
	Stage I	0,200	0,200	80	7,600	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage II	0,100	0,100	80	5,200	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,100	0,100	80	3,240	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	80	1,800	0,0075	0,002	1,500	0,130
	Stage IV	0,025	0,025	80	0,400	0,0075	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	48	0,400	0,0075	0,002	1,500	0,130
560 < P <sup>82</sup>	Stage V	0,045	0,045	48	3,500	0,0075	0,002	1,500	0,130

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-6 de la sección 1.A.4 Non road mobile machinery de la EMEP/EEA, 2023.

Para la obtención de los parámetros de la Ecuación 13, se tiene, en primer lugar, que el factor de deterioro de la maquinaria específica (FD) se calcula considerando tanto sus años de uso como su vida útil, tal como presenta en la Ecuación 14. En la Tabla 22 se muestra la vida útil de distintas maquinarias, mientras que en la Tabla 23 se presenta el factor de deterioro en función a la vida útil.

<sup>82</sup> En la sección 3.2.2 de la presente Guía se definió MRF indicando una potencia máxima de 560 HP, sin embargo, en caso de que el titular declare maquinarias con potencia mayor se deberá aplicar estos factores para la estimación de emisiones atmosféricas.

**Ecuación 14.** Metodología de cálculo para el factor de deterioro

$$FD_i = \frac{K}{VU} \times FD_{VU}$$

Donde:

- FD<sub>i</sub>** : Factor de deterioro de la maquinaria i, adimensional.
- K** : Edad de la maquinaria (entre 0 y la vida útil), en años.
- VU** : Vida útil de la maquinaria, en años.
- FD<sub>VU</sub>** : Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria, adimensional.

**Tabla 22.** Años de vida útil (VU) para distintos tipos de maquinarias a diésel

MAQUINARIA	VIDA ÚTIL (AÑOS)
Excavadora	10
Retroexcavadora	10
Cargador frontal	10
Minicargadores	14
Compactadora	14
Motoniveladora	10
Bulldozer	10
Asfaltadora	10
Montacargas	20
Placa vibradora	10
Plataforma elevadora	10
Cargador telescopico	14
Tractores	30
Bomba hormigonera	15
Otras maquinarias <sup>83</sup>	10

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla C-1 de la sección 1.A.4 *Non road mobile machinery* de la EMEP/EEA, 2023.

<sup>83</sup> En caso de no contar con el dato con base en la referencia, se recomienda utilizar por defecto el valor de 10 años.

**Tabla 23.** Factores de deterioro relativo a la vida útil ( $FD_{vu}$ ) para maquinarias diésel (adimensional)

TECNOLOGÍA	MP10	MP2,5	$NO_x$	$SO_2$	$NH_3$	CO	COVDM
<b>Stage I &lt;</b>	0,473	0,473	0,024	0	0	0,185	0,047
<b>Stage I</b>	0,473	0,473	0,024	0	0	0,101	0,036
<b>Stage II</b>	0,473	0,473	0,009	0	0	0,101	0,034
<b>Stage IIIA, IIIB, IV, V</b>	0,473	0,473	0,008	0	0	0,151	0,027

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-11 de la sección 1.A.4 *Non road mobile machinery* de la EMEP/EEA, 2023.

El factor de ajuste transiente (TAF) se puede obtener de la Tabla 24. Respecto del factor de carga (FC<sub>i</sub>) se puede considerar un valor por defecto de 0,8 para cualquier maquinaria, tanto para verificar los valores del factor de ajuste transiente de la Tabla 24 como para la Ecuación 13.

4.

**Tabla 24.** Parámetros por FCVC para la estimación del factor de ajuste transiente (TAF) según factor de carga (adimensional)

TECNOLOGÍA	FACTOR DE CARGA	MP10	MP2,5	$NO_x$	$SO_x$	$NH_3$	CO	COVDM
<b>Stage II ≤</b>	$FC_i > 0,45$	1,23	1,23	0,95	1	1	1,53	1,05
<b>Stage IIIA</b>		1,47	1,47	1,04	1	1	1,53	1,05
<b>Stage IIIB &gt;</b>		1,00	1,00	1,00	1	1	1,00	1,00
<b>Stage II ≤</b>	$0,25 \leq FC_i \leq 0,45$	1,60	1,60	1,025	1	1	2,05	1,67
<b>Stage IIIA</b>		1,92	1,92	1,125	1	1	2,05	1,67
<b>Stage IIIB &gt;</b>		1,00	1,00	1,00	1	1	1,00	1,00
<b>Stage II ≤</b>	$FC_i < 0,25$	1,97	1,97	1,10	1	1	2,57	2,29
<b>Stage IIIA</b>		2,37	2,37	1,21	1	1	2,57	2,29
<b>Stage IIIB &gt;</b>		1,00	1,00	1,00	1	1	1,00	1,00

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-14 de la sección 1.A.4 *Non road mobile machinery* de la EMEP/EEA, 2023.

## 4.3 Procesos industriales y uso de productos

Para la estimación de emisiones por procesos industriales y uso de productos se adoptaron factores de emisión provenientes de distintas fuentes referenciadas, siendo la metodología de estimación la presentada en la Ecuación 1.

### 4.3.1 Procesos industriales

#### 4.3.1.1 Producción de cemento

En la fabricación de cemento, las emisiones de material particulado se originan principalmente en las chimeneas del sistema de horno y en los procesos de molienda y manipulación de materias primas. Para la estimación de emisiones de FCVC por la producción de cemento se pueden utilizar los factores de emisión de la Tabla 25.

**Tabla 25.** Factores de emisión de FCVC para producción de cemento

FCVC	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
MP10	234 [ $g\ MP10/ton\ clinker$ ]	
MP2,5	130 [ $g\ MP2,5/ton\ clinker$ ]	Tabla 3-1 de la sección 2.A.1 Cement production de la EMEP/EEA 2023.
BC	3% en masa del MP2,5	

El nivel de actividad de la industria del cemento estará dado por la producción de *clinker* en toneladas por año.

#### 4.3.1.2 Producción de ácido nítrico

Durante la producción del ácido nítrico ( $HNO_3$ ) se generan óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) en la torre de absorción, en las unidades de depuración de gases y en las plantas de concentración de ácido. El factor de emisión de  $NO_x$  para esta actividad se muestra en la Tabla 26.

**Tabla 26.** Factores de emisión de FCVC para producción de ácido nítrico

FCVC	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>10.000 [g NO<sub>x</sub>/ton HNO<sub>3</sub>]</b>	Tabla 3-3 de la sección 2.B <i>Chemical industry</i> de la EMEP/ EEA 2023.

El nivel de actividad de la fabricación de ácido nítrico es la producción anual de este compuesto en toneladas, o en su defecto, la capacidad productiva anual de la planta por instalar.

#### 4.3.1.3 Producción de hierro y acero

La producción de hierro y acero en sus procesos de manipulación, fundición y transformación de la materia prima emite contaminantes como material particulado y compuestos orgánicos volátiles distintos del metano. El factor de emisión de cada FCVC para los distintos procesos se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27.** Factores de emisión de FCVC para producción de hierro y acero

PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO	FCVC	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
<b>Producción de pellets</b>	MP10	0,025 [ $kg\ MP10/ton\ hierro$ ]	Tabla 3-3 de la sección 2.C.1 <i>Iron and steel production</i> de la EMEP/EEA 2023
	MP2,5	0,020 [ $kg\ MP2,5/ton\ hierro$ ]	
	BC	0,17 % en masa del MP2,5	
	COVDM	0,014 [ $kg\ COVDM/ton\ hierro$ ]	
<b>Horno básico de oxígeno (BOF)</b>	MP10	0,032 [ $kg\ MP10/ton\ acero$ ]	Tabla 3-14 de la sección 2.C.1 <i>Iron and steel production</i> de la EMEP/EEA 2023
	MP2,5	0,028 [ $kg\ MP2,5/ton\ acero$ ]	
	BC	0,36 % en masa del MP2,5	

PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO	FCVC	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
<b>Horno de arco eléctrico (EAF)</b>	MP10	0,024 [ $kg\ MP10/ton\ acero$ ]	Tabla 3-15 de la sección 2.C.1 <i>Iron and steel production</i> de la EMEP/EEA 2023
	MP2,5	0,021 [ $kg\ MP2,5/ton\ acero$ ]	
	BC	0,36 % en masa del MP2,5	
	COVDM	0,046 [ $kg\ COVDM/ton\ acero$ ]	

El nivel de actividad estará dado por la cantidad de hierro o acero producido en toneladas por año, según cada proceso productivo.

4.

### 4.3.2 Uso de productos

#### 4.3.2.1 Uso de SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos

Dada las propiedades fisicoquímicas del SF<sub>6</sub> este es usado como aislante eléctrico para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad, generando emisiones de COVDM en cada etapa del ciclo de vida de los equipos (instalación, operación y cierre según Tabla 16). Los factores de emisión de FCVC a usar por defecto, independiente si es media o alta tensión (MV o HV, respectivamente), se muestran en la Tabla 28.

**Tabla 28.** Factores de emisión de FCVC para uso de SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos

FCVC	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
COVDM	2 [ $kg\ COVDM/ton\ SF_6$ ]	Tabla 3-1 de la sección 2.D.3.i, 2G <i>Other solvent and product use</i> de la EMEP/EEA 2023

El nivel de actividad para equipos eléctricos considera la capacidad nominal de SF<sub>6</sub> en equipos instalados, en equipos en operación y en equipos que han cumplido su vida útil y son retirados, en unidades de kg SF<sub>6</sub>/año.

## 4.4 Emisiones fugitivas

Las emisiones fugitivas corresponden a aquellas que no están canalizadas a través de ductos, chimeneas u otros sistemas hacia la atmósfera<sup>84</sup> y que, además, se conoce el proceso que las genera, por ejemplo, procesos asociados a la construcción y movimiento de tierra, demoliciones, tránsito por vías, tanto pavimentados como sin pavimentar, entre otras. Para la estimación de estas emisiones atmosféricas se utilizaron las metodologías validadas a nivel internacional, tales como: "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook", "AP-42: Compilation of Air Emissions Factors", además se tuvo de referencia la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana", del año 2020, elaborada por la Subsecretaría Regional Ministerial (Seremi) del Medio Ambiente de la Región Metropolitana<sup>85</sup>.

### 4.4.1 Tronaduras

La estimación de emisiones asociadas a la actividad de tronadura se realiza conforme a la metodología establecida en la guía del EMEP/EEA<sup>86</sup>. Esta actividad se realiza en dos etapas: primero, se efectúa la perforación de la roca y posteriormente se introducen explosivos en los orificios para su detonación, con el objetivo de fracturar la estructura rocosa. Por lo tanto, la estimación de esta fuente incluye las emisiones de material particulado generadas tanto durante la perforación<sup>87</sup> como en el proceso de tronadura.

#### Ecuación 15. Metodología de estimación de emisiones material particulado provenientes de tronadura

$$E_i = k_{d-i} \times N_{perforaciones} + k_b \times k_{sf-i} \times S^{1,5} \times N_{tronaduras}$$

$E_i$	: Emisiones del contaminante, en kilogramos por año (kg/año).
$N_{perforaciones}$	: Número de perforaciones por año cronológico, adimensional.
$S$	: Área afectada por la tronadura ( $m^2$ ).
$N_{tronaduras}$	: Número de tronaduras por año cronológico.
$K_b$	: 0,00022 (kg/[tronadura· $m^3$ ]).
$K_{d-i}$	: Factor de emisión del contaminante i, en kilogramos por perforación (kg/perforación).
$K_{sf-i}$	: Factor de escalado del contaminante i, adimensional.

Los factores de emisión y escalado por contaminante se presentan a continuación:

<sup>84</sup> Con base en las definiciones del Ministerio del Medio Ambiente respecto a conceptos de calidad del aire. Disponibles en el sitio web: <https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/>

<sup>85</sup> Disponible en el sitio web: <https://airerm.mma.gob.cl>

<sup>86</sup> Acápite 3.3.1 de la sección 2.A.5.a *Quarrying and mining of minerals other than coal* del EMEP/EEA, año 2023.

<sup>87</sup> Se asume una perforación húmeda, la cual incluye un abatimiento del 90%. Esta es la técnica más comúnmente usada (Gobierno de Canadá, 2017).

**Tabla 29.** Factores de emisión y escalado para tronadura por contaminante

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN	FACTOR DE ESCALADO
	$K_{d-i}$	$K_{sf-i}$
MP10	0,31	0,52
MP2,5	0,31	0,03

Fuente: elaboración propia con base en el acápite 3.3.1 de la sección 2.A.5.a *Quarrying and mining of minerals other than coal* del EMEP/EEA, año 2023.

#### 4.4.2 Demolición

Para la estimación de emisiones asociadas a la actividad de demolición en los sitios de emplazamiento del proyecto o actividad, se aplica una metodología de acuerdo con la guía referenciada del EMEP/EEA<sup>88</sup>, y factores de emisión específicos por tipo de construcción que serán demolidas, clasificados como: “residencial”, “departamentos”, “no residencial” y “viales”. La metodología para estimar las emisiones provenientes de la demolición se presenta en la Ecuación 16.

4.

##### Ecuación 16. Metodología de estimación de emisiones material particulado provenientes de la demolición

$$E_i = FE_i \times Na \times d \times (1 - CE) \times \left( \frac{24}{PE} \right) \times \left( \frac{s}{9\%} \right)$$

Donde:

- $E_i$**  : Emisiones del contaminante i, en kilogramos por año (kg/año).
- $FE_i$**  : Factor de emisión del contaminante i, en kilogramos por metro cuadrado al año (kg/[m<sup>2</sup>·año]).
- $Na$**  : Área por demoler, en metros cuadrados por año cronológico (m<sup>2</sup>/año).
- $d$**  : Duración de la demolición, en años.
- $CE$**  : Eficiencia de abatimiento determinado en fracción, adimensional.
- $PE$**  : Índice de evapotranspiración de Thornthwaite.
- $s$**  : Contenido de finos en el suelo en porcentaje, adimensional.

Los factores de emisión por tipo de demolición y contaminante se presentan en la Tabla 30. Para determinar qué factor usar y el área o superficie por demoler se debe tener presente las siguientes indicaciones<sup>89</sup>: el tipo de demolición “residencial” se refiere a las viviendas

<sup>88</sup> Acápite 3.2.1 de la sección 2.A.5.b *Construction and demolition* del EMEP/EEA, año 2023.

<sup>89</sup> Acápite 3.2.4 de la sección 2.A.5.b *Construction and demolition* del EMEP/EEA, 2023.

unifamiliares, incluidas aquellas pareadas, donde el área por demoler (Na) se refiere a la superficie bidimensional de la vivienda sobre el terreno, eso incluye la cantidad de pisos que tenga la vivienda. De la misma forma, para aquellos departamentos en edificaciones colectivas el área por demoler (Na) se refiere a la superficie bidimensional del edificio por cada piso/subterráneo o superficie construida. Respecto al tipo de demolición "vial", esta corresponde a la superficie pavimentada de carreteras, caminos o vías. Cabe indicar que, el tipo de demolición "no residenciales" considera cualquier demolición que no sean las mencionadas.

**Tabla 30.** Factores de emisión por tipo de demolición

TIPO DE DEMOLICIÓN	FACTOR DE EMISIÓN (kg/[m <sup>2</sup> • año])	
	MP10	MP2,5
<b>Residencial</b>	0,086	0,0086
<b>Departamentos</b>	0,3	0,03
<b>No residenciales</b>	1	0,1
<b>Viales</b>	2,3	0,23

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 3-1, Tabla 3-2, Tabla 3-3 y Tabla 3-4 de la sección 2.A.5.b *Construction and demolition* del EMEP/EEA, año 2023.

Respecto al control o abatimiento de las emisiones producto de la demolición a partir del riego, cabe señalar que la referencia solo indica valores asociados a la demolición vial u a otras demoliciones, sin contar con un valor para aquellas demoliciones residenciales o de departamentos, tal como se muestra en la Tabla 31. Se deberá indicar y justificar cómo y cuánta agua se utilizará para aplicar esta forma de abatimiento.

**Tabla 31.** Abatimiento de emisiones de material particulado según tipo de demolición

TIPO DE DEMOLICIÓN	EFICIENCIA DE ABATIMIENTO <sup>90</sup> (%)
<b>Residencial</b>	0
<b>Departamentos</b>	0
<b>No residenciales</b>	50
<b>Viales</b>	50

<sup>90</sup> Datos obtenidos del acápite 3.2.3 de la sección 2.A.5.b *Construction and demolition* del EMEP/EEA, 2023.

Respecto al índice de evapotranspiración de Thornthwaite este se puede estimar de acuerdo con la Ecuación 17<sup>91</sup>, donde  $P_i$  corresponde a la precipitación acumulada del mes “i”, en milímetros (mm), y  $T_i$  corresponde a la temperatura promedio del mes “i”. Estos datos pueden ser obtenidos de la o las estaciones meteorológicas representativas del área de emplazamiento del proyecto o aquellas más cercanas. Para justificar esta información, se recomienda presentar planilla de registro de los valores observados en la estación, indicado además el nombre y ubicación de esta.

**Ecuación 17. Metodología para la estimación del índice de evapotranspiración de Thornthwaite**

$$PE = 3,16 \times \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{P_i}{1,8 \times T_i + 22} \right)^{\frac{10}{9}}$$

Para cada zona geográfica se tiene un valor específico para este índice, sin embargo, se pueden esperar ciertos valores en razón al clima. En este sentido, en la Tabla 32 se indican los valores esperados y recomendados para aplicar en caso de no contar con la información señalada en la Ecuación 17.

**Tabla 32. Índice de Thornthwaite según tipo de clima**

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	VALORES ESPERADOS	VALOR RECOMENDADO
PE	Clima lluvioso	Más de 128	128
	Clima húmedo	64 a 127	64
	Clima subhúmedo	32 a 63	32
	Clima semiárido	16 a 31	16
	Clima árido	Menos de 16	8

Fuente: elaboración propia con base en la sección 2.A.5.b *Construction and demolition* del EMEP/EEA, 2023.

Por último, para el caso del contenido de finos se puede utilizar un valor igual a 12%<sup>92</sup>, correspondiente a suelos arenosos, pues en construcciones es usual tener este tipo de suelo para mayor estabilidad.

<sup>91</sup> *Ibid.* nota al pie N°90.

<sup>92</sup> Valor referenciado en la Sección 2.A.5.b *Construction and demolition* del EMEP/EEA, año 2023.

### 4.4.3 Movimientos de tierra

Para las actividades que forman parte de los movimientos de tierra, la metodología de estimación se basa en la ecuación general (Ecuación 1) que considera el nivel de actividad multiplicado por el factor de emisión de dicha actividad. De esta manera, para cada actividad se presenta una breve descripción, los factores de emisión y los niveles de actividad.

#### 4.4.3.1 Perforación

Esta actividad considera las perforaciones en terreno asociadas al proyecto a evaluar, cuyos factores de emisión se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33. Factores de emisión para perforación por tipo de contaminante**

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN <sup>93</sup> (kg/perforación)
MP10	0,59
MP2,5	0,09

Respecto a los niveles de actividad, están dados por el número de perforaciones a realizar por año cronológico.

#### 4.4.3.2 Escarpe

Esta actividad considera el movimiento de tierra superficial y retiro de cobertura vegetal en la preparación del terreno. Los factores de emisión de esta actividad se muestran en la Tabla 34.

**Tabla 34. Factores de emisión para escarpe por tipo de contaminante**

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN <sup>94</sup> (kg/km)
MP10	5,70
MP2,5	0,86

Fuente: elaboración propia con base en EPA, AP-42, año 1995. Capítulo 13.2.3, *Miscellaneous Sources*, Sección *Heavy Construction Operations*.

<sup>93</sup> Valor de MP10 referenciado en la Sección 4.5.2, Tabla 4-7, *EPA Estimating particulate matter emissions from construction operations, final Report prepared by the Midwest Research Institute (MRI), US EPA*, del año 1999. Se consideró que el MP2,5 corresponde a un 15% del MP10 para emisiones fugitivas de polvo (MRI, 2006).

<sup>94</sup> Para el factor de emisión de MP2,5 se considera que corresponde a un 15% del MP10 para escarpe (MRI, 2006).

El nivel de actividad de escarpe está dado por los kilómetros recorridos por la maquinaria en la preparación del terreno. Para su cálculo se multiplican las hectáreas (ha) a escarpar por el factor 3,57 kilómetros por hectárea<sup>95</sup> (km/ha). En el caso que el proyecto o actividad considere obras de preparación del terreno en más de una ocasión sobre la misma superficie, se debe considerar como área extra de escarpe para la contabilización de estas emisiones. Para justificar estas superficies se deberá presentar las áreas de escarpe en una cartografía, incluyendo los archivos *kmz* y *shape* correspondientes<sup>96</sup>.

Por último, y en relación con la sección 4.4.3.5 de la presente Guía, se deberá estimar el volumen del material escarpado. Para tal fin, se recomienda revisar los detalles de la profundidad promedio de escarpe según estudio de mecánica de suelos del proyecto o actividad o, en su defecto, considerar una profundidad de 0,2 metros respecto a la superficie del terreno.

#### 4.4.3.3 Excavación

Esta actividad considera las excavaciones para la ejecución del proyecto o actividad, para lo cual, comúnmente, se utiliza maquinaria pesada. Los factores de emisión para la excavación se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35.** Factores de emisión para excavación por tipo de contaminante

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (kg/h)
MP10	$\frac{0,75 \times 0,45 \times (s)^{1,5}}{(M)^{1,4}}$
MP2,5	$\frac{0,105 \times 2,6 \times (s)^{1,2}}{(M)^{1,3}}$

Fuente: EPA, AP-42, año 1998. Capítulo 11.9, *Mineral Products Industry*, Sección *Western Surface Coal Mining*.

<sup>95</sup> Para la obtención de este factor se utilizó como referencia el "CATERPILLAR Performance Handbook" (2022), específicamente los rendimiento y velocidades de las motoniveladoras en el capítulo "Motor Graders".

<sup>96</sup> Se recomienda ceñirse a los lineamientos del Ordinario 202599102232, del 18 de marzo de 2025, que imparte instrucciones sobre la utilización de la geoinformación en el proceso de evaluación de impacto ambiental, y su "Manual para la utilización de la geoinformación en el proceso de evaluación de impacto ambiental". Disponibles en el Centro de Documentación del SEA en su sitio web: [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

Donde:

**S** : Porcentaje de finos del suelo, adimensional.

En el estudio de mecánica de suelos los finos se refieren a las partículas menores a 0,075 mm (75  $\mu\text{m}$ ), principalmente limos y arcillas<sup>97</sup>. Para evaluar el porcentaje se debe cuantificar aquel material que pasa por el tamiz N°200 de los ensayos de granulometría correspondientes.

**M** : Porcentaje de humedad del suelo, adimensional.

Se recomienda revisar los detalles de ingeniería del suelo por excavar donde se ejecutará el proyecto o actividad para obtener el valor representativo de la humedad y contenido de finos, específicamente del estudio de mecánica de suelos o los ensayos específicos. En su defecto, se pueden utilizar los valores recomendados por la EPA<sup>98</sup>, siendo estos igual a 6,9% para el porcentaje de finos y 7,9% para el porcentaje de humedad del suelo. Para el caso de la Región Metropolitana, se recomienda utilizar los valores por defecto indicados en la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana" (2020), siendo estos igual a 8,5% para el porcentaje de finos del suelo y 6,5% para el porcentaje de humedad del suelo.

El nivel de actividad puede ser definido mediante las horas de uso de la maquinaria de excavación para el proyecto o actividad, esto en función de la jornada laboral y cronograma que dé cuenta del periodo de excavación. Otra forma de definir el nivel de actividad<sup>99</sup> puede establecerse dividiendo el volumen a excavar por el rendimiento de la maquinaria utilizada en la excavación, para lo cual se recomienda utilizar los valores por defecto presentados en la Tabla 36. El rendimiento se expresa en metros cúbicos sueltos de tierra excavada, lo que implica que, para estimar las horas de operación de la excavadora, debe considerarse un volumen de tierra esponjado en un 20%<sup>100</sup>.

**Tabla 36. Parámetros para el cálculo del nivel de actividad en excavación**

CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINARIA	
<b>Capacidad de palada</b>	0,9 $\text{m}^3$
<b>Rendimiento</b>	54,27 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

Fuente: elaboración propia con base en "CATERPILLAR Performance Handbook" (2022).

<sup>97</sup> Con referencia en "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)" de la *Advancind Standards Transforming Markets* (ASTM) del año 2025 (ASTM D2487-17).

<sup>98</sup> Valores promedio de la Tabla 11.9-3 del Capítulo 11.9, *Mineral Products Industry, Sección Western Surface Coal Mining*, para "Bulldozer, Overburden" del AP-42 de la EPA, año 1998.

<sup>99</sup> Siendo que se utilice una u otra forma para estimar el nivel de actividad, este cálculo debe tener en vista la condición más desfavorable respecto a la ejecución del proyecto relacionado con la configuración del impacto, según señala el Reglamento del SEIA.

<sup>100</sup> Ref. Tabla 2 de la NCh 353.Of2000 "Construcción - Cubicación de obras de edificación - Requisitos". Primera edición, del año 2000.

El volumen por excavar debe ser justificado por el titular entregando las dimensiones del volumen y una cartografía con las áreas de excavación, incluyendo los archivos *kmz* y *shape* correspondientes<sup>101</sup>.

#### 4.4.3.4 Erosión de material en pila

Estas emisiones corresponden a la erosión eólica sobre el material apilado que tenga la posibilidad de ser suspendido por acción del viento, específicamente aquel que contenga áridos, suelos escarpados o excavados, entre otros. El factor de emisión para esta actividad se presenta en la Tabla 37 y corresponde a una metodología alternativa<sup>102,103</sup> publicada por la EPA en 1989, la cual no está incluida en el compendio AP-42.

**Tabla 37. Factores de emisión para erosión de material en pila por tipo de contaminante**

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (kg/[ha·día])	PARÁMETRO DE PARTÍCULA (k)
MP10	$k \times \left(\frac{s}{1,5}\right) \times \left(\frac{f}{15}\right)$	0,953
MP2,5		0,146

Donde:

**s** : Porcentaje de finos del material, adimensional.

**f** : Porcentaje del tiempo en que la velocidad del viento no obstruido es mayor a 5,4 metros por segundo (m/s) a la altura media de la pila sobre el suelo, adimensional.

Para el caso del porcentaje de finos del material se recomienda revisar los valores promedio por defecto indicados por la EPA en la Tabla 13.2.4-1 del Capítulo 13.2.4 *Miscellaneous Sources*, Sección *Aggregate Handling and Storage Piles*, de la AP-42. Por su parte, para los valores del material escarpado y excavado que sea acopiado, se recomienda revisar los detalles de ingeniería del suelo donde se construirá el proyecto para obtener el valor representativo de finos, específicamente en el estudio de mecánica de suelos y ensayos específicos. En caso de no contar con esta información para los materiales acopiados y que tengan la posibilidad de ser erosionados por acción del viento se puede utilizar un valor por defecto igual a 8,5%.

**101** *Ibid.*, nota al pie N°96.

**102** Metodología secundaria con base en el capítulo 9° "Storage Pile Wind Erosion", del "WRAP Fugitive Dust Handbook" de la *Western Regional Air Partnership* (WRAP), del año 2006.

**103** La metodología principal se presenta en la Capítulo 13.2.5, *Industrial Wind Erosion*, Sección *Miscellaneous Sources* del AP-42 de la EPA, año 2006, y se diferencia de la secundaria dada la cantidad de información requerida.

Por otro lado, el porcentaje del tiempo del viento obstruido se puede obtener a partir de los datos observados de la o las estaciones meteorológicas representativas<sup>104</sup> de la ubicación del proyecto o actividad o aquellas más cercanas. Para justificar esta información, se recomienda presentar planilla de registro de los valores observados en la estación, indicado además el nombre y ubicación de esta.

El nivel de actividad considera las hectáreas de acopio multiplicadas por los días al año que se mantiene el material apilado, estas hectáreas deben ser respaldadas por el titular a través de una cartografía, incluyendo los respectivos archivos *kmz* y *shape*<sup>105</sup>.

#### 4.4.3.5 Carguío y volteo de material

Esta actividad considera las emisiones atmosféricas de material particulado producto de la carga y descarga de aquel material que pudiese resuspenderse, como el escarpado, excavado, escombros, aquellos áridos para rellenos y estabilización, entre otros. El factor de emisión para esta actividad se presenta en la Tabla 38.

**Tabla 38.** Factores de emisión para carguío y volteo de material por tipo de contaminante

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (kg/ton)	PARÁMETRO DE PARTÍCULA (k)
MP10	$k \times (0,0016) \times \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$	0,350
MP2,5		0,053

Fuente: EPA, AP-42, año 2006. Capítulo 13.2.4, *Miscellaneous Sources*, sección *Aggregate Handling and Storage Piles*.

Donde:

**U** : Velocidad del viento promedio aritmético, en metros por segundo (m/s).

**M** : porcentaje de humedad del material, adimensional.

Para el caso del porcentaje de humedad del material, se recomienda revisar los valores promedio por defecto indicados por la EPA en la Tabla 13.2.4-1 del Capítulo 13.2.4 *Miscellaneous Sources*, sección *Aggregate Handling and Storage Piles*, de la AP-42 de la EPA, año 2006. Por su parte, para los valores del material escarpado y excavado se recomienda revisar los detalles de ingeniería del suelo donde se construirá el proyecto para obtener el valor representativo de

**104** Para este fin, véase los lineamientos del capítulo 3.1 de la primera edición de la "Guía calidad del aire en el área de influencia de proyectos que ingresan al SEIA" (SEA, 2015), así como el capítulo 6 de la segunda edición de la "Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA" (SEA, 2023), o aquellas que las reemplacen. Ambas guías disponibles en el Centro de Documentación del sitio web del SEA: [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

**105** *Ibid.*, nota al pie N°96.

la humedad, específicamente en el estudio de mecánica de suelos y ensayos específicos. En caso de no contar con esta información para los materiales que serán cargados o volteados y que tengan la posibilidad de resuspenderse se puede utilizar un valor por defecto igual a 6,5%.

Por otro lado, la velocidad promedio del viento se puede obtener a partir de los datos observados de la o las estaciones meteorológicas representativas de la ubicación del proyecto o actividad o aquellas más cercanas, considerando para este cálculo solo las horas en qué se realizará esta actividad, por ejemplo, según jornada diurna o nocturna. Para justificar esta información, se recomienda presentar planilla de registro de los valores de la estación, indicado además el nombre y ubicación de esta.

El nivel de actividad corresponde a las toneladas del material cargado más el descargado, o bien el material trasladado multiplicado por dos. Para esta estimación se debe considerar al menos los siguientes materiales:

- Carga y descarga del material escarpado y excavado.
- Carga y descarga de escombros de construcción que puedan erosionarse.
- Carga y descarga de áridos para rellenos, estabilización, para el uso en plantas de hormigón, entre otros.

4.

#### 4.4.3.6 Compactación

Esta actividad considera la operación de maquinaria pesada sobre una superficie con el objetivo de incrementar su densidad. El factor de emisión se presenta en la Tabla 39.

**Tabla 39.** Factores de emisión para compactación por tipo de contaminante

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (kg/h)
<b>MP10</b>	$\frac{0,75 \times 0,45 \times (s)^{1,5}}{(M)^{1,4}}$
<b>MP2,5</b>	$\frac{0,105 \times 2,6 \times (s)^{1,2}}{(M)^{1,3}}$

Fuente: elaboración propia con base en EPA, AP-42, año 1998. Tabla 11.9-2 del Capítulo 11.9, *Mineral Products Industry*, sección *Western Surface Coal Mining* en referencia a *Operation Bulldozing, Material Overburden*.

Donde:

- s** : Porcentaje de finos del suelo, adimensional.  
**M** : Porcentaje de humedad del suelo, adimensional.

Se recomienda revisar los detalles de ingeniería del suelo donde se ejecutará el proyecto o actividad para obtener el valor representativo de la humedad y contenido de finos del suelo por compactar, específicamente del estudio de mecánica de suelos o los ensayos específicos. En su defecto, se pueden utilizar los valores recomendados por la EPA<sup>106</sup>, siendo estos igual a 6,9% para el porcentaje de finos y 7,9% para el porcentaje de humedad del suelo. Para el caso de la Región Metropolitana, se recomienda utilizar los valores por defecto indicados en la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana" (2020), siendo estos igual a 8,5% para el porcentaje de finos del suelo y 6,5% para el porcentaje de humedad del suelo.

El nivel de actividad considera las horas de uso de la compactadora, las cuales se pueden obtener con base en el área por recorrer, número de pasadas, velocidad y ancho de esta maquinaria, como se muestra en la Ecuación 18. En caso de la velocidad se podrá utilizar como valor por defecto 11,4 kilómetros por hora (km/h)<sup>107</sup>. Para justificar esta superficie el titular deberá presentar cartografía, con sus respectivos archivos kmz y shape<sup>108</sup>.

#### 4.

#### Ecuación 18. Metodología de estimación de los datos de actividad sobre las horas de compactación

$$\text{Horas de compactación} = \text{nº de pasadas} \times \frac{\text{Área [m}^2\text{]}}{\text{Ancho [m]} \times \text{velocidad[km/h]} \times 1.000[\text{m/km}]}$$

#### 4.4.3.7 Nivelación

Esta actividad considera el uso de maquinaria en la obtención de cierto nivel de una superficie. El factor de emisión se presenta en la Tabla 40.

**Tabla 40. Factores de emisión para nivelación por tipo de contaminante**

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (kg/km)
MP10	$0,6 \times 0,0056 \times (S)^2$
MP2,5	$0,031 \times 0,0034 \times (S)^{2,5}$

Fuente: EPA, AP-42, año 1998. Tabla 11.9-2 del Capítulo 11.9, *Mineral Products Industry*, sección Western Surface Coal Mining en referencia a Grading.

**106** Valores promedio de la Tabla 11.9-3 del Capítulo 11.9, *Mineral Products Industry*, Sección Western Surface Coal Mining, para "Bulldozer, Overburden", de la AP-42 de la EPA, año 1998.

**107** En referencia a la Tabla 11.9-3 del Capítulo 11.9, *Mineral Products Industry*, Sección Western Surface Coal Mining (Grader) del AP-42 de la EPA, año 1998.

**108** *Ibid.*, nota al pie N°96.

Donde:

**S** : Velocidad promedio de la maquinaria, en kilómetros por hora (km/h). En caso de desconocer el valor, se recomienda utilizar por defecto una velocidad promedio de 11,4 km/h<sup>109</sup>.

El nivel de actividad considera los kilómetros recorridos por la niveladora, determinados a partir del área a nivelar, el ancho de la maquinaria y el número de pasadas, como se puede observar en la siguiente ecuación.

#### Ecuación 19. Metodología de estimación de datos de actividad para los kilómetros de nivelación

$$\text{km de nivelación} = \frac{\text{Área[m}^2\text{]}}{\text{Ancho[m]}} \times \frac{1[\text{km}]}{1000[\text{m}]} \times \text{nº de pasadas}$$

4.

#### 4.4.4 Resuspensión por tránsito de vehículos

El tránsito de los vehículos por caminos causa pulverización y levantamiento de las partículas superficiales en una intensidad que depende del tipo de camino, del tipo de vehículos que lo recorren y de la tasa de precipitación que humecta la ruta en un periodo de tiempo determinado. Para estas actividades, la metodología de estimación se basa en la ecuación general (Ecuación 1) que considera el nivel de actividad multiplicado por el factor de emisión de dicha actividad. De esta manera, tanto para el tránsito de vehículos por caminos pavimentados como no pavimentados, se presenta una breve descripción, los factores de emisión y los niveles de actividad.

##### 4.4.4.1 Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados

El factor de emisión asociado a esta actividad depende del peso promedio de la flota (W) que transita por el camino no pavimentado, lo que clasifica esta metodología como "caminos dominados por vehículos pesados" o "caminos dominados por vehículos livianos". Para determinar si el flujo es dominado por vehículos pesados o livianos se debe estimar el peso promedio, donde un peso menor a 2,7 toneladas se considerará como caminos dominados por vehículos livianos, mientras que mayor a esa cantidad es un flujo dominado por vehículos pesados.

El peso promedio de la flota para un determinado camino no pavimentado y año cronológico se calcula mediante la siguiente ecuación.

<sup>109</sup> *Ibid.* nota al pie N°96.

**Ecuación 20.** Metodología de estimación de peso promedio de la flota considerada por el proyecto.

$$W = \frac{\sum_i^n [\bar{P}_i \times Nv_i]}{\sum_j^n Nv_j}$$

Donde:

- W** : Peso promedio de la flota de vehículos que transitan por un determinado camino en un año cronológico, en toneladas (ton).
- $\bar{P}_i$**  : Promedio entre el peso con y sin carga del vehículo que transita en este camino en un año cronológico para un determinado viaje i, en toneladas (ton).
- $Nv_i$**  : Número de viajes del tipo viaje i, en el año cronológico en cuestión.
- $Nv_j$**  : Número de viajes del tipo viaje j, en el año cronológico en cuestión.  
Correspondientes a los viajes de los otros vehículos que no realizan el viaje i.
- n** : Cantidad de tipos de viajes en el año cronológico en cuestión.

4.

Una vez estimado el peso promedio de la flota por cada año cronológico para cada camino no pavimentado utilizados por el proyecto o actividad según cada fase, se debe determinar qué factor de emisión se utilizará para calcular las emisiones de material particulado respirable, según se indica en la Tabla 41.

**Tabla 41.** Factor de emisión para tránsito de vehículos, por tipo camino y tipo de contaminante

CAMINOS	CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (g/km)	PARÁMETRO DE PARTÍCULA (k)	CONSTANTE (C) (g/km)
<b>Dominados por vehículos pesados (<math>W &gt; 2,7</math> [ton])</b>	MP10	$k \times 281,9 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \times \left(\frac{W}{2,72}\right)^{0,45}$	1,5	-
	MP2,5		0,15	-
<b>Dominados por vehículos livianos (<math>W &lt; 2,7</math> [ton])</b>	MP10	$\frac{k \times 281,9 \left(\frac{s}{12}\right) \times \left(\frac{s}{48,28}\right)^{0,5}}{\left(\frac{M}{0,5}\right)^{0,2}} - C$	1,8	0,132493
	MP2,5		0,18	0,101484

Fuente: EPA, AP-42, año 2006. Capítulo 13.2.2, *Unpaved Roads*, Sección *Miscellaneous Sources*.

Donde:

- s** : Contenido de material fino en la superficie del camino en porcentaje, adimensional.
- M** : Contenido de humedad en el material superficial del camino en porcentaje, adimensional.
- S** : Velocidad media vehículos, en kilómetros por hora (km/hora).

El contenido o fracción de finos y humedad del material superficial de los caminos no pavimentados puede ser obtenido a partir de valores medidos para la zona de tránsito de vehículos, localidad, comuna o región correspondiente, ya sea propios o de terceros. En su defecto, se pueden utilizar los valores promedio por defecto del contenido de finos indicado por la EPA en la Tabla 13.2.2-1 del Capítulo 13.2.2 *Unpaved Roads*, sección *Miscellaneous Sources*<sup>110</sup>, de la AP-42, de acuerdo con los distintos tipos de superficie de rodado o uso industrial del camino señalados. A su vez, el contenido de humedad del material superficial del camino puede ser considerado como 0,5% según la Capítulo 13.2.2 *Unpaved Roads*, sección *Miscellaneous Sources*, de la AP-42.

Respecto al **abatimiento** de las emisiones de material particulado producto de la resuspensión en caminos no pavimentados, se debe tener presente que existen dos formas: una generada de **forma natural** por las precipitaciones o lluvias, así como otra de carácter **antrópico**, que corresponde a formas de control para disminuir la resuspensión de este material particulado.

Para considerar el efecto de las lluvias se puede aplicar el factor de abatimiento obtenido mediante la Ecuación 21<sup>111</sup>, donde "P" corresponde al número de días en el año con precipitaciones superiores a los 0,254 mm. Este dato puede ser obtenido de las estaciones meteorológicas representativas del área de tránsito de los vehículos o aquellas más cercanas. Para justificar esta información, se recomienda presentar planilla de registro de los valores observados en la estación, indicado además el nombre y ubicación de esta.

4.

#### Ecuación 21. Metodología para el cálculo del factor de corrección por lluvia

$$\text{Factor corrección por lluvia camino no pavimentado} = 1 - \frac{P}{365}$$

En cuanto al abatimiento antrópico se aclara que el titular deberá justificar la metodología y porcentaje de eficiencia según sea humectación, aplicación de agentes químicos, mejoramiento de la superficie, o cualquier otra acción. Además, solo se deberá considerar estas acciones en caminos no pavimentados al interior del sitio del proyecto o externos siempre y cuando se pueda asegurar su continuidad en el tiempo bajo responsabilidad del titular. En caso de que se aplique una forma de abatimiento, se recomienda al titular presentar un programa de aplicación y seguimiento que contemple reportar los medios de verificación de su ejecución a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) a través del Sistema de Seguimiento Ambiental<sup>112</sup>. Estos deberán contener: objetivos, acciones, frecuencia de aplicación, responsable, ficha de registro, medios de verificación, indicadores, entre otros<sup>113</sup>, tal como se detalla en la sección 5º de esta Guía.

<sup>110</sup> Esta tabla indica que para los caminos no pavimentados en sitios de construcción se puede utilizar un valor promedio de 8,5% para el contenido de finos.

<sup>111</sup> Ecuación 1b del Capítulo 13.2.2, *Unpaved Roads*, Sección *Miscellaneous Sources* del AP-42 de la EPA, año 2006.

<sup>112</sup> Acceso mediante el sitio web <http://www.sma.gob.cl>, según lo establecido en la Resolución Exenta 223, de 2015, de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

<sup>113</sup> Contenidos especificados en los artículos 14 y siguientes de la Resolución Exenta 223, de 2015, de la SMA.

El nivel de actividad corresponde a los kilómetros recorridos por los vehículos del proyecto o actividad en los caminos no pavimentados internos y externos por cada año cronológico según cada fase, considerando tanto los viajes de ida como de vuelta de cada vehículo. El titular debe adjuntar una tabla indicando las distancias de todos los caminos no pavimentados y justificarlas mediante cartografía(s), incluyendo sus respectivos archivos *kmz* y *shape*<sup>114</sup>, procurando consistencia en la nomenclatura de estos caminos en los diferentes archivos. Para estimar la cantidad de viajes de cada vehículo el titular debe ceñirse a las indicaciones del capítulo 2º de la "Guía para la descripción de la acción del transporte terrestre en el SEIA" (SEA, 2017), o aquella que la reemplace, y la recomendación de la sección 4.4.4.3 de la presente Guía.

#### 4.4.4.2 Tránsito de vehículos por caminos pavimentados

El tránsito de vehículos por vías pavimentadas genera resuspensión de partículas que depende de la carga superficial del camino, modulada por situaciones como degradación del pavimento, erosión del viento, entre otras. El factor de emisión de esta actividad se muestra en la Tabla 42.

**Tabla 42. Factores de emisión para tránsito de vehículos por vías pavimentadas por tipo de contaminante**

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (g/km)	<i>k</i> (g/km)
<b>MP10</b>	$k \times (sL)^{0,91} \times (W \times 1,1023)^{1,02}$	0,62
<b>MP2,5</b>		0,15

Fuente: EPA, AP-42, año 2011. Capítulo 13.2.1, *Paved Roads*, Sección *Miscellaneous Sources*.

Donde:

**sL** : Carga superficial de finos del camino, en gramos por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>).

**W** : Peso promedio de la flota de vehículos que transitan por el camino, en toneladas.

Respecto al peso promedio de la flota, se debe estimar con base en el flujo que utiliza aquellas vías. En caso de que se desconozca el flujo de vehículos, se recomienda considerar un peso promedio de la flota igual a 8 toneladas.

Para obtener el parámetro de la carga superficial de finos se recomienda utilizar valores medidos para la zona de tránsito de vehículos, localidad, comuna o región correspondiente, ya sea propios o de terceros. En el caso de valores de terceros, se recomienda utilizar los

<sup>114</sup> *Ibid.*, nota al pie N°96.

datos de estudios específicos para cada zona<sup>115</sup>. En caso de no contar con estos datos, se recomienda utilizar los valores sugeridos por la EPA según el flujo de vehículos diarios en el camino pavimentado, los cuales se presentan en la Tabla 43.

**Tabla 43.** Valores por defecto para carga superficial de finos según flujo de vehículos en determinado camino pavimentado

FLUJO (VEHÍCULOS POR DÍA [x])	ÍNDICE $sL(g/m^2)$
$x < 500$	0,6
$500 \geq x > 10.000$	0,2
$x \geq 10.000$	0,03

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 13.2.1-2 del Capítulo 13.2.1, *Paved Roads*, sección *Miscellaneous Sources* del AP-42 de la EPA, año 2011.

4.

Para considerar el efecto de las lluvias se puede aplicar el factor de abatimiento obtenido mediante la Ecuación 22<sup>116</sup>, donde  $P$  corresponde al número de días en el año con precipitaciones superiores a los 0,254 mm. Este dato puede ser obtenido de las estaciones meteorológicas representativas del área de tránsito de los vehículos o aquellas más cercanas. Para justificar esta información, se recomienda presentar planilla de registro de los valores observados en la estación, indicado además el nombre y ubicación de esta.

#### Ecuación 22. Metodología para el cálculo del factor de corrección por lluvia

$$\text{Factor corrección por lluvia camino no pavimentado} = 1 - \frac{P}{4 \times 365}$$

El nivel de actividad equivale a la suma de los kilómetros recorridos por los vehículos del proyecto, en las vías de cada rango de flujo vehicular. Para lo anterior, el titular debe presentar una tabla con cada ruta, separada por tramos según sus flujos (ejemplo en la Tabla 44) y justificar las distancias de los tramos mediante un mapa formato *kmz*<sup>117</sup>, procurando consistencia en la nomenclatura de estos caminos en los diferentes archivos.

<sup>115</sup> Por ejemplo, para la Región Metropolitana se cuenta con datos medidos y trascritos en la Tabla 4.3 de la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana" (2020).

<sup>116</sup> Ecuación 2 del Capítulo 13.2.1, *Paved Roads*, Sección *Miscellaneous Sources* del AP-42 de la EPA, año 2011.

<sup>117</sup> *Ibid.*, nota al pie N°96.

**Tabla 44.** Ejemplo de tabulación por rutas

RUTA	TRAMO DE RUTA	DISTANCIA [km]	FLUJO (x)
<b>Ruta 1</b>	Calle a – Calle b	...	$x < 500$ ; $500 \geq x > 10.000$ o $x \geq 10.000$
<b>Ruta 1</b>	Calle b – Calle c	...	...
...	...	...	...
<b>Ruta n</b>	...	...	...

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.4.3 Cálculo del número de viajes

Para determinar el número de viajes asociados al traslado de materiales y residuos del proyecto o actividad, deben considerarse los siguientes pasos.

- El volumen de material a transportar dividido en la capacidad en volumen del camión que lo transporta<sup>118</sup>.
- Paralelamente, se dividen las toneladas de material a transportar por la capacidad (en toneladas) del camión que lo transporta.
- El número de viajes corresponderá al valor máximo entre los dos resultados anteriores**, con el objetivo de que, en la estimación, la carga no supere ni en peso ni en volumen la capacidad el camión. Para obtener los viajes de ida y vuelta, se debe multiplicar el valor obtenido por dos.

Cabe señalar que, para el cálculo del número de viajes relacionados al transporte del material escarpado y excavado, y de los escombros se deberá considerar un esponjamiento del 20% y 40%<sup>119</sup>, respectivamente.

En este contexto, el titular debe reportar en una tabla la flota de vehículos a utilizar en el proyecto, indicando tara, capacidad volumétrica (en [ $m^3$ ]), capacidad másica (en [ton]) y peso promedio entre vehículo cargado y descargado (ejemplo en la Tabla 45). Adicionalmente, en otra tabla se deben reportar los materiales a transportar en cada año, su volumen, densidad, peso, vehículos de transporte, ruta de transporte y número de viajes (ejemplo en la Tabla 46).

<sup>118</sup> Tanto para el punto 1 como para el punto 2, el resultado se redondea al entero superior.

<sup>119</sup> Ref. Tabla 2 de la NCh 353.Of2000 "Construcción - Cubicación de obras de edificación - Requisitos". Primera edición, año 2000.

**Tabla 45.** Ejemplo de tabulación para reporte de flota de vehículos

VEHÍCULO	TARA [ton]	CAPACIDAD		PESO (ton)	
		(m <sup>3</sup> )	(ton)	BRUTO	PROMEDIO
<b>Vehículo 1</b>	X	Y	Z	X + Z	X + (Z/2)
...	...	...	...	...	...
<b>Vehículo n</b>	...	...	...	...	...

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 46.** Ejemplo de tabulación para reporte de cantidad de viajes según materiales y residuos transportados

MATERIAL	AÑO	VOLUMEN [m <sup>3</sup> ]	DENSIDAD [ton/ m <sup>3</sup> ]	PESO [ton]	VEHÍCULO	RUTA	Nº DE VIAJES
<b>Material 1</b>	1	Volumen material 1, año 1	Densidad material 1	Peso material 1, año 1	Vehículo material 1	Ruta material 1	Nº viajes material 1, año 1
<b>Material 1</b>	2	Volumen material 1, año 2	Densidad material 1	Peso material 1, año 2	Vehículo material 1	Ruta material 1	Nº viajes material 1, año 2.
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Material n</b>	...	...	...	...	...	...	...

Fuente: elaboración propia.

4.

#### 4.4.5 Procesamiento de roca chancada y mineral pulverizado

El procesamiento y pulverización de roca y mineral generan emisiones de material particulado. Las diferentes actividades para procesar y pulverizar la roca o material le son replicables tanto para proyectos de desarrollo minero como proyectos de extracción y procesamiento de áridos<sup>120</sup>.

Para estas actividades, la metodología de estimación se basa en la ecuación general (Ecuación 1) que considera el nivel de actividad multiplicado por el factor de emisión de dicha actividad. Las actividades involucradas y su factor de emisión se muestran en la Tabla 47.

<sup>120</sup> La sección 11.19.1.2, del Capítulo 11.19.1, *Sand & Gravel Processing*, sección *Mineral Products Industry* del AP-42 de la EPA, indica que para el procesamiento de áridos se pueden usar los datos provenientes de la sección 11.19.2 del AP-42 de la EPA.

**Tabla 47.** Factores de emisión para el procesamiento de roca chancada, mineral pulverizado y áridos

ACTIVIDAD	AP-42 EPA		PARA EFECTOS DE ESTA GUÍA <sup>121</sup>	
	MP10 (kg/ton)	MP2,5 (kg/ton)	MP10 (kg/ton)	MP2,5 (kg/ton)
<b>Chancado primario</b>	S/I <sup>122</sup>	S/I	0,0012	0,00018
<b>Chancado secundario</b>	S/I	S/I	0,0012	0,00018
<b>Chancado terciario</b>	0,0012	S/I	0,0012	0,00018
<b>Chancado primario (con supresión húmeda)</b>	S/I	S/I	0,00027	0,00005
<b>Chancado secundario (con supresión húmeda)</b>	S/I	S/I	0,00027	0,00005
<b>Chancado terciario (con supresión húmeda)</b>	0,00027	0,00005	0,00027	0,00005
<b>Pulverizado</b>	0,0075	S/I	0,0075	0,001125
<b>Pulverizado (con supresión húmeda)</b>	0,0006	0,000035	0,0006	0,000035
<b>Tamizado grueso</b>	0,0043	S/I	0,0043	0,000645
<b>Tamizado grueso (con supresión húmeda)</b>	0,00037	0,000025	0,00037	0,000025
<b>Tamizado fino</b>	0,036	S/I	0,036	0,0054
<b>Tamizado fino (con supresión húmeda)</b>	0,0011	S/I	0,0011	0,000165
<b>Punto de transferencia entre correas</b>	0,00055	S/I	0,00055	0,000155
<b>Punto de transferencia entre correas (con supresión húmeda)</b>	$2,3 \times 10^{-5}$	$6,5 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$6,5 \times 10^{-6}$

Fuente: elaboración propia con base en la Tabla 11.19.2-1 del Capítulo 11.19.2, *Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing*, sección *Mineral Products Industry* del AP-42 de la EPA, año 2004.

El nivel de actividad corresponde a la cantidad de material procesado según cada actividad en toneladas por año cronológico. En caso de que estas actividades se describan en más de una oportunidad en el procesamiento de la roca y mineral pulverizado, la estimación de las emisiones deberá considerar este número de veces que la actividad es ejecutada<sup>123</sup>.

**121** Para efectos de esta Guía se asumirá que aquellas actividades que no cuenten con factor de emisión para MP2,5, estos corresponderán a un 15% del factor para MP10 (MRI, 2006).

**122** S/I: Sin información.

**123** Por ejemplo, si en la línea de producción hay dos chutes de descarga, se deberán sumar dos veces las emisiones de esta fuente.



# 5.

## FORMAS DE ABATIMIENTO Y CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

5.

## 5. FORMAS DE ABATIMIENTO Y CONTROL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

El Título III del Reglamento del SEIA presenta los contenidos mínimos de los Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental. Según este Título, tanto para las DIA como EIA y sus respectivas fases de construcción, operación y cierre, si la hubiese, es necesario describir las "emisiones, incluyendo las de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta, del proyecto o actividad y **las formas de abatimiento y control contempladas**" (énfasis agregado).

Desde esta disposición reglamentaria se puede inferir que las formas de abatimiento y control están relacionadas a las emisiones generadas por el proyecto o actividad, las cuales corresponden a factores generadores de impacto<sup>124</sup>.

A su vez, el inciso final del artículo 105° del Reglamento del SEIA, referido al plan de seguimiento de las variables ambientales, tanto para DIA como EIA, indica que: "en caso de corresponder, el proponente deberá incorporar en el plan de medidas, condiciones, exigencias y/o **acciones de control** que se adoptarán para verificar **que no se generen impactos significativos**" (énfasis agregado). Esta indicación está ligada con el artículo 18, letra m), y artículo 19, letra d), ambos del Reglamento del SEIA que establecen los compromisos ambientales voluntarios (CAV), definiendo que "(...) entre dichos compromisos, se podrá considerar los que se hacen cargo de **los impactos no significativos**, los relacionados a las **emisiones de gases de efecto invernadero y los forzantes climáticos** y los asociados a **verificar que no se generan impactos significativos**" (énfasis agregado).

Por ende y con base en las indicaciones normativas, se insta a los titulares a considerar las formas de abatimiento y control de las emisiones atmosféricas como CAV. Cabe indicar que lo anterior no altera la evaluación de los efectos, características o circunstancias, sino más bien releva el correlato entre las emisiones y sus formas de abatimiento y control como parte de la descripción propia de los proyectos o actividades sometidos al SEIA.

A su vez, se recomienda a los titulares presentar estas formas de abatimiento y control según lo establecido en la Resolución Exenta 223, de 2015, de la SMA, reportando los medios de verificación de su ejecución y monitoreo a través del Sistema de Seguimiento Ambiental<sup>125</sup>, indicando: objetivos, acciones, frecuencia, responsable, ficha de registro, medios de verificación, indicadores, entre otros<sup>126</sup>, de tal forma de entregar las certezas técnicas de los valores de eficiencia indicados en la estimación de emisiones, según la Ecuación 1 de la presente Guía.

---

<sup>124</sup> Capítulo 1.1 del "Criterio de Evaluación en el SEIA: Alcances y principios metodológicos para la evaluación de los impactos ambientales" (SEA, 2023), disponible en el Centro de Documentación del sitio web del Servicio: [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

<sup>125</sup> Acceso mediante el sitio web: <http://www.sma.gob.cl>

<sup>126</sup> Contenidos especificados en los artículos 14 y siguientes de la Resolución Exenta 223, de 2015, de la SMA.

De esta manera, en esta sección se presenta un compilado de distintas formas de abatimiento y control para las emisiones de GEI y FCVC, especialmente de material particulado respirable y metano ( $\text{CH}_4$ ). Este compilado no es un listado taxativo de formas de abatimiento y control, existiendo otras que aquí no se señalan.

## 5.1 Emisiones de material particulado en caminos no pavimentados

A continuación, se especificarán las formas de abatimiento y control de emisiones atmosféricas de material particulado producto del tránsito de vehículos o maquinarias por caminos no pavimentados más utilizadas en el SEIA. Tal como se mencionó en la sección 4º de la presente Guía, solo se podrán considerar estas acciones en caminos no pavimentados al interior del sitio de emplazamiento del proyecto o en caminos externos, siempre que en estos últimos se pueda asegurar su continuidad bajo responsabilidad del titular.

### 5.1.1 Supresión a partir de humectación

Este tipo de acción se considera como una forma de abatimiento del tipo “mejoramiento superficial”, es decir que la aplicación de agua es relativa a la primera capa de material del camino no pavimentado por lo que estará sujeta a las condiciones climáticas y de tránsito para la mantención de su efectividad. En cuanto a la utilización del recurso hídrico, se recomienda a los titulares de proyectos o actividades que se emplacen en zonas declaradas con escasez hídrica, considerar otras formas de abatimiento y control de material particulado, como “supresores a partir de agentes químicos” (véase sección 5.1.2), siempre y cuando cumplan con las normativas vigentes al respecto.

La Ecuación 23 presenta la metodología para el cálculo del porcentaje de abatimiento por humectación de caminos no pavimentados, lo cual será entendido de igual manera que el concepto “riego de caminos”<sup>127</sup>, utilizando para ambos fines agua. Por su parte, el riego con aditivos o estabilizantes (agentes químicos), será presentado en la siguiente sección.

5.

**Ecuación 23. Metodología para el cálculo del porcentaje de abatimiento por humectación de caminos no pavimentados<sup>128</sup>**

$$\begin{aligned} \text{Ea} &= 0,75 \times (M - 1) && \text{para } 1 < M < 2 \\ \text{Ea} &= 0,75 + \left(\frac{20}{3}\right) \times (M - 2) && \text{para } 2 \leq M \leq 5 \end{aligned}$$

<sup>127</sup> Esta Guía no aborda las condiciones que debe cumplir el agua para ser utilizado como riego. Para aquello, se deberá tener en vista las distintas disposiciones sanitarias y ambientales vigentes.

<sup>128</sup> Ecación elaborada con base en la Figura 13.2.2-2 del Capítulo 13.2.2, *Unpaved Roads*, Sección *Miscellaneous Sources* del AP-42 de la EPA, año 2006.

Donde:

- Ea** : Eficiencia del abatimiento de la emisión material particulado producto de la humectación de caminos (riego), determinada en fracción (adimensional).
- M** : Razón de humedad, estimada entre la humedad superficial del camino no pavimentado humectado y la humedad del camino sin humectar (adimensional).

La razón de humedad se estima en función al abatimiento y control de las emisiones de material particulado y depende de la cantidad de agua por utilizar, por lo que es fundamental aplicar de manera frecuente para mantener la eficiencia señalada.

Esta eficiencia es instantánea para cada vez que se humecta el camino no pavimentado, por lo cual y en el caso de ser utilizada de manera prolongada en el tiempo (faenas constructivas) **se recomienda presentar un Programa de Aplicación y Seguimiento** que dé cuenta de la efectividad de la medida, como parte de la forma de control al momento de elaborar CAV.

Para la elaboración del Programa se recomienda ceñirse a los contenidos del Plan de Seguimiento Ambiental, para lo cual se expone como ejemplo la Tabla 48. Cabe señalar que este ejemplo es ilustrativo, y dependerá de cada caso el completar este Plan y Programa, según sea el caso.

## 5.

**Tabla 48.** Ejemplo de llenado del Plan de Seguimiento de la acción de humectación de caminos no pavimentados

CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
<b>Componente ambiental<sup>129</sup></b>	Calidad del aire.
<b>Impacto ambiental</b>	Emisiones de material particulado producto de la resuspensión en caminos no pavimentados.
<b>Medidas<sup>130</sup> o compromisos ambientales voluntario asociado</b>	Humectación de caminos no pavimentados.
<b>Objetivo del plan de seguimiento<sup>131</sup></b>	Abatir y controlar las emisiones de material particulado producto del tránsito de vehículos en caminos no pavimentados.

**129** "Elemento constituyente del medio ambiente, siendo estos: agua, aire, suelo, biota y medio humano". Definición extraída del Párrafo 1º del artículo segundo de la Resolución Exenta 223, del 15 de abril de 2015, de la SMA. Estos componentes se correlacionan con los objetos de protección indicados en los criterios del SEIA.

**130** En referencia al Párrafo 1º del Título VI del Reglamento del SEIA.

**131** Según lo establece el inciso final del artículo quinto de la Resolución Exenta 223, del 15 de abril de 2015, de la SMA.

CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
<b>Ubicación de los puntos de control</b>	Mapa georreferenciado con puntos de inicio y término, y rutas de la aplicación de la humectación en los caminos no pavimentados. Esta georreferenciación debe indicar el uso del sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84 y huso correspondiente.
<b>Parámetros<sup>132</sup> para caracterizar el estado y evolución de la(s) variable(s) ambiental(es)</b>	Cantidad de pasadas del vehículo o maquinaria a través del cual se aplique la humectación y cantidad agua utilizada que justifique la razón de humedad (M) indicada.
<b>Método o procedimiento de muestreo, medición, análisis o control para cada parámetro</b>	<p>Programa de Aplicación</p> <p>Como parte de la construcción del programa de humectación, se debe estimar de la razón de humedad (M), cantidad de agua por utilizar, número de pasadas de vehículo o maquinaria, además de cómo afectarían las condiciones climáticas y meteorológicas para estimar la frecuencia de aplicación, de tal manera de entregar las certezas en la justificación del valor de eficiencia.</p> <p>Con estos datos, se contará con la frecuencia de aplicación de la humectación y la cantidad asociada por pasada, con lo cual se recomienda elaborar y reportar con una planilla de registro de las aplicaciones, acompañada de fotografías de cada pasada realizada.</p>
<b>Duración y frecuencia del plan</b>	<p>Duración directamente relacionada al tiempo de las faenas que generen las emisiones de material particulado, específicamente el tránsito de vehículos por el camino no pavimentado. Siendo esta duración igual o menor a ese tiempo.</p> <p>Además, el titular tendrá que señalar la duración total del período de seguimiento, como también, deberá presentar los hitos de inicio y término de la implementación de dicho plan.</p>
<b>Entrega de informes</b>	Se deben indicar los plazos y frecuencia de entrega de informes a la SMA.

Fuente: elaboración propia.

<sup>132</sup> "Elemento, analito, índice, indicador, dato o factor, que permite establecer la magnitud de una variable ambiental". Definición extraída del Párrafo 1º del artículo segundo de la Resolución Exenta 223, del 15 de abril de 2015, de la SMA.

### 5.1.2 Supresión a partir de agentes químicos

Otra forma de abatimiento del tipo “mejoramiento superficial” es la aplicación de un supresor químico para el “control o estabilización” del material presente en la superficie del camino no pavimentado, también conocidos como “supresores de polvo<sup>133</sup>”. Estos supresores pueden ser del tipo “sales y cloruros”<sup>134</sup>, “productos bituminosos”<sup>135</sup>, “productos orgánicos no bituminosos”, “polímeros sintéticos”<sup>136</sup>, entre otros. En esta sección se describirán aquellos supresores para los cuales se tengan datos empíricos verificados por las autoridades competentes. De todas formas, queda en potestad del titular que presenta estas formas de abatimiento en su proyecto o actividad por someterse al SEIA, revisar y justificar el uso y eficiencia de estos supresores.

Cabe diferenciar los términos de “control” o “estabilización”, ya que están ligados con la efectividad del abatimiento de las emisiones de material particulado. Cuando está sección se refiera a “control” se hará referencia a un abatimiento con una menor eficiencia en el tiempo dada la cantidad del supresor, mientras que “estabilización” persigue el disminuir o evitar las emisiones de material particulado en el tiempo, para alcanzar mayores niveles de eficiencia.

A continuación, se describen algunos agentes químicos para el abatimiento de material particulado en caminos no pavimentados. Se aclara que esta no es una lista taxativa, ya que existe una gran variedad de agentes para tales fines dependiendo el uso de parámetros como la granulometría del camino no pavimentado, las condiciones meteorológicas y climáticas, el flujo y peso de la flota, incluida la cantidad de agua necesaria para su aplicación mediante riego, en caso de que así sea, entre otros puntos relevantes. Es potestad del titular del proyecto o actividad por someter al SEIA entregar la información que permita sustentar y justificar los parámetros y eficiencias indicados.

- a) **Cloruro de calcio:** se aplica a granel. La dosis varía entre el 2% al 5%, lo que se traduce en un consumo entre 50 a 100 ton/km. No resulta práctico ser aplicado como riego ya que es necesaria una gran cantidad de agua para disolver la dosis adecuada.
- b) **Cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita<sup>137</sup>):** es un compuesto altamente higroscópico<sup>138</sup>. La dosis de aplicación para la estabilización varía entre los 60 a 100 ton/km (3% al 5%) dependiendo de la granularidad, mientras que para el control se emplea una dosis de 3 kg/m<sup>2</sup> del camino. Esta sal es altamente soluble, por lo que es recomendada su aplicación como riego, es decir, disuelta en agua.

<sup>133</sup> Distintos al agua.

<sup>134</sup> Por ejemplo, el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) o la bischofita ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

<sup>135</sup> Por ejemplo, emulsiones asfálticas o asfaltos cortados.

<sup>136</sup> Por ejemplo, Permazyme®.

<sup>137</sup> Es uno de los productos que se puede obtener desde la minería del litio, específicamente de las de piscinas de evaporación solar. Para más detalles, se recomienda revisar la extracción y procesamiento del litio en la segunda edición de la “Guía para la descripción de proyectos de explotación de litio y otras sustancias minerales desde salares en el SEIA”, o aquella que la reemplace, disponible en el Centro de Documentación del sitio web del Servicio: [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

<sup>138</sup> Capta agua del medio a partir de una humedad relativa superior al 32%.

- c) **Productos bituminosos<sup>139</sup>**: compuestos aglomerantes de partículas finas presentes en la capa superficial del suelo, lo que estabiliza la superficie de rodado, obteniéndose respuestas similares a la pavimentación. Dentro de este grupo de soluciones se incluyen los "asfaltos cortados" y "emulsiones asfálticas".
- d) **Perma-Zyme ®<sup>140</sup>**: polímero enzimático de origen orgánico que se diluye en agua y se aplica antes de compactar los caminos no pavimentados para su utilización. Debe ser aplicado como una disolución, considerando una dosis de 1 kg del polímero por cada 30,25 m<sup>3</sup> de agua a aplicar en el camino por compactar. En términos de riego, la dosis correspondería, de manera aproximada, a 33 litros de solución del polímero por cada kilómetro (km) del camino.

La Tabla 49 presenta un resumen de la dosis requerida y los porcentajes estándar de abatimiento, diferenciados en caminos no pavimentados dominados por vehículos livianos y pesados. Cabe indicar que estos datos son genéricos por lo que se recomienda utilizar de manera discrecional, soportando su utilización con la presentación de un Programa de Aplicación y Seguimiento tal como se indicó en la sección 5.1.1 (véase ejemplo de la Tabla 48).

**Tabla 49.** Dosis y eficiencia de abatimiento estándar de distintos supresores de polvo

SUPRESOR	FORMA DE ABATIMIENTO	DOSIS DEL SUPRESOR	EFICIENCIA DE ABATIMIENTO ESTÁNDAR (%)	
			FLOTA DOMINADA POR VEHÍCULOS LIVIANOS	FLOTA DOMINADA POR VEHÍCULOS PESADOS
<b>Cloruro de calcio</b>	Estabilización	50-100 ton/km de camino	80	S/I <sup>141</sup>
<b>Bischofita</b>	Estabilización	60-100 ton/km de camino	98	80
	Control	3 kg/m <sup>2</sup> de camino	93	S/I
<b>Productos bituminosos</b>	Estabilización	60-100 ton/km de camino	95	80
<b>Perma-Zyme ®</b>	Estabilización	33 litros/km camino	50	40

Fuente: elaboración propia.

**139** Por "bituminoso" se entenderá a aquellas "sustancias negras, sólidas o viscosas, dúctiles, que se suelen ablandar con el calor", las cuales incluyen a los de origen petrolífero. Su denominación viene del betún, por sus características similares al asfalto.

**140** Véase más información sobre este polímero en el sitio web, [Perma-Zyme: Solución para estabilizar caminos de tierra y pavimentados](#)

**141** S/I: Sin información.

En aquellos casos donde algún instrumento de gestión ambiental, tal como PPDA, establezca procedimientos y valores mínimos de eficiencia para la supresión de emisiones de material particulado, será responsabilidad del titular del proyecto o actividad, en razón a la normativa ambiental aplicable, cumplir con aquellas condiciones, sin poder considerarlas como parte de un Plan de Compensación de Emisiones (PCE) o una medida del proyecto.

## 5.2 Emisiones de material particulado en el procesamiento de áridos y chancado de rocas

En las últimas décadas la industria de la extracción y procesamiento de áridos ha experimentado un aumento considerable dado principalmente por el crecimiento de la industria de la construcción, estimando un aumento de su demanda en un 28%<sup>142</sup> para los próximos 30 años. Este aumento requiere que esta industria responda a los desafíos ambientales, buscando la sustentabilidad y garantizando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. De igual forma, a la industria de la minería se le exige mayores estándares para asegurar una extracción y procesamiento sustentable, dado su aporte en la economía.

Este apartado entrega parámetros y valores estándares para formas de abatimiento y control de las emisiones de material particulado utilizando agua en forma atomizada en el procesamiento de áridos y chancado de rocas para la industria minera. En cuanto a la utilización del recurso hídrico, se recomienda a los titulares de proyectos o actividades que se emplacen en zonas declaradas con escasez hídrica considerar formas de recirculación del recurso, de modo de disminuir lo más posible el consumo. Lo anterior, debe ser justificado técnicamente.

La eficiencia del abatimiento dependerá de las condiciones climáticas, la disposición y funcionamiento de las fuentes de emisión y la duración de la aplicación, por ende, los parámetros presentados en la Tabla 50 son estándares y deben ser utilizados de manera discrecional, soportando su utilización con la presentación de un Programa de Aplicación y Seguimiento, tal como se indicó en la sección 5.1.1 (véase ejemplo de la Tabla 48).

---

<sup>142</sup> En referencia a las conclusiones del informe "Una Aproximación de la Demanda de Áridos de Largo Plazo en Chile", Cámara Chilena de la Construcción, 2022.

**Tabla 50.** Eficiencia estándar por uso de atomizador de agua en distintas unidades del procesamiento de rocha chancada y áridos

SISTEMA	EFICIENCIA DE ABATIMIENTO O FACTOR DE EMISIÓN	
	MINERA (CHANCADO DE ROCA)	PROCESAMIENTO DE ÁRIDOS
Pilas de almacenamiento	S/I	80%-90%
Tamizado		FE en Tabla 47
Chancado terciario		FE en Tabla 47
Chancado de finos		FE en Tabla 47
Puntos de transferencia en correas transportadoras		FE en Tabla 47

Fuente: elaboración propia con base en el capítulo 5.8 del informe de B.S. Consultores, 2015 con base en AP-42 de la EPA.

5.

Cabe aclarar que estas formas de abatimiento para el procesamiento de áridos son principalmente utilizadas en las instalaciones industriales y rara vez se utilizan en "instalaciones de producción de áridos para la construcción de proyectos inmobiliarios"<sup>143</sup>, por lo cual, su uso debe ser justificado con base en la descripción de la instalación y la capacidad de aplicar la humectación necesaria.

### 5.3 Emisiones de metano y de compuestos orgánicos volátiles en rellenos sanitarios

Según la NDC de Chile, del año 2022, el sector de residuos sólidos es el principal generador de emisiones de metano, representando un 48% del total de estas emisiones. Por lo tanto, es fundamental el abatimiento y control de estas emisiones para el cumplimiento de los compromisos de mitigación y adaptación del país respecto al Acuerdo de París.

<sup>143</sup> Véase sección 2.4 de la segunda edición de la "Guía para la descripción de proyectos inmobiliarios en el SEIA" (SEA, 2019), o aquella que la reemplace, disponible en el Centro de Documentación del sitio web del Servicio: [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)

Las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y de compuestos orgánicos volátiles (COV) producto de la disposición de residuos sólidos en sitios autorizados como rellenos sanitarios<sup>144</sup> se deben, principalmente, a la descomposición o digestión de los residuos orgánicos, desde etapas en presencia de oxígeno, donde se genera el  $\text{CO}_2$ , hasta etapas en condiciones de ausencia de oxígeno (anaeróbicas), donde dadas las temperaturas y humedad, se generan emisiones de metano y de COV, mezcla resultante de gases conocida como "biogás"<sup>145</sup>.

Con base en las referencias validadas, es que esta sección presentará las eficiencias esperadas de abatimiento de las emisiones de metano y de COV contenidas en el "biogás" por los residuos orgánicos en rellenos sanitarios. Estas formas de abatimiento cuentan con valores validados por la autoridad correspondiente, por ende, en caso de utilizar otros se deberá entregar los antecedentes necesarios para justificar técnicamente aquella decisión.

El control y abatimiento del gas generado en rellenos sanitarios se realiza, generalmente, mediante la instalación de sistemas de captura a través de pozos con extracción forzada y su conducción a sistemas de destrucción, con o sin valorización energética. Entre estos sistemas se encuentran las antorchas cerradas y las turbinas de generación eléctrica, entre otros. En estos sistemas se oxida y convierte el metano y los COV capturados en  $\text{CO}_2$ .

Estos procesos de tratamiento son altamente eficientes en la conversión (destrucción) de estos gases, por lo tanto, el control de las emisiones en un relleno sanitario dependerá de la eficiencia en la captura de estos, es decir del diseño y operación del sistema de captura y extracción del biogás (a mayor eficiencia de captura, menores emisiones de biogás no controladas) y de las características constructivas y operacionales<sup>146</sup>.

De acuerdo con lo anterior, y en ausencia de una norma de emisión, se recomienda que en el marco del SEIA se generen CAV para la medición de la eficiencia de los sistemas de extracción de biogás y de sus emisiones en rellenos sanitarios, incluyendo la evaluación de los modelos de generación de biogás, la determinación de la extracción y de las emisiones no controladas del biogás en rellenos sanitarios.

Dicho lo anterior, en la Tabla 51 se presenta la eficiencia esperada para distintos sistemas de captura o recolección del biogás, mientras que en la Tabla 52 se presentan los rangos

---

**144** "Relleno sanitario: Instalación de eliminación de residuos sólidos en la cual se disponen residuos sólidos domiciliarios y asimilables, diseñada, construida y operada para minimizar molestias y riesgos para la salud y la seguridad de la población y daños para el medio ambiente, en la cual las basuras son compactadas en capas al mínimo volumen practicable y son cubiertas diariamente, cumpliendo con las disposiciones del presente reglamento". Ref. artículo 4º del Decreto 189, de 2005, del Ministerio de Salud que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, o aquel que lo reemplace.

**145** Según estipula el artículo 4º del Decreto 189, de 2005, del Ministerio de Salud, biogás se define como: "mezcla de gases generada por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica putrescible de los residuos que se depositan en un Relleno Sanitario y que consiste mayoritariamente en metano, dióxido de carbono, vapor de agua y, en mucho menor medida, de gases tales como sulfuro de hidrógeno e hidrógeno".

**146** Con relación en las indicaciones del artículo 16 del Decreto 189, de 2005, del Ministerio de Salud que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, o aquel que lo reemplace, que indica "todo proyecto de Relleno Sanitario deberá contemplar un sistema de manejo de biogás diseñado en base a una proyección de la cantidad de biogás que se generará en éste y que garantice condiciones de seguridad adecuadas tanto al interior de la instalación como en sus alrededores (...)".

esperados de eficiencia para la conversión o destrucción del biogás, donde se recomienda utilizar el valor de eficiencia estándar en caso de quema del biogás. Cabe indicar que estos datos son genéricos, por lo que se recomienda utilizar de manera discrecional en caso de contar con datos empíricos. En la Figura 2 se presenta de manera esquemática cómo se captura o recolecta el biogás y cómo se transporta a los sistemas de tratamiento o valorización.

**Tabla 51. Eficiencia estándar de captura o recolección del biogás en rellenos sanitarios**

DESCRIPCIÓN	EFICIENCIA DE CAPTURA O RECOLECCIÓN DEL BIOGÁS (%)
Área con cobertura diaria <sup>147</sup> de tierra y extracción activa <sup>148</sup> del biogás	60
Área con cobertura intermedia <sup>149</sup> o final de tierra y extracción activa del biogás	75
Área con cobertura final <sup>150</sup> de arcilla de 90 cm o más de espesor o geomembrana y extracción activa	95

Fuente: elaboración propia con base en EPA, 2011.

**147** Por "cobertura diaria" se entenderá aquella "capa de tierra compactada de al menos 15 cm de espesor con que se cubre la totalidad de los residuos dispuestos durante un día de operación en un Relleno Sanitario y que tiene como objetivos evitar el contacto de los residuos con el medio ambiente, alcanzar y mantener condiciones anaeróbicas en las celdas sanitarias, controlar la proliferación de vectores sanitarios, el biogás, la emanación de olores ofensivos, los riesgos de incendio y el ingreso de aguas lluvias". Ref. artículo 4º del Decreto 189, de 2005, del Ministerio de Salud que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, o aquel que lo reemplace.

**148** Por "extracción activa" se entenderá aquel "proceso de extracción del biogás mediante un equipo de succión conectado a través de cañerías de recolección a los pozos de extracción", además, por "pozos de extracción" se entenderá aquella "tubería con un extremo perforado, rodeado de grava u otro material que proteja las "perforaciones", instalada vertical u horizontalmente en los residuos para extraer el biogás desde el extremo que se encuentra sobre la superficie del relleno sanitario". Ref. elaboración propia. Cabe indicar que, si la Autoridad Sanitaria define este concepto en alguna norma, deberá ser considerada aquella definición por sobre la indicada.

**149** Por "cobertura intermedia" se entenderá aquella "capa de tierra compactada de al menos 30 centímetros de espesor con que se cubre la superficie del relleno sanitario en la que no se dispondrán nuevos residuos antes de dos meses de construida la respectiva celda sanitaria". Ref. elaboración propia. Cabe indicar que, si la autoridad sanitaria define este concepto en alguna norma, deberá ser considerada aquella definición por sobre la indicada.

**150** Por "cobertura final" se entenderá aquel "sistema constituido por varias capas instaladas sobre la superficie de un relleno sanitario sobre la cual no se dispondrán nuevos residuos y que tiene por objetivo minimizar la infiltración de aguas lluvias, la erosión y la emisión de gas metano". Ref. elaboración propia. Cabe indicar que, si la autoridad sanitaria define este concepto en alguna norma, deberá ser considerada aquella definición por sobre la indicada.

**Tabla 52.** Eficiencia estándar de ciertos sistemas de tratamiento de emisiones de metano y de COV desde rellenos sanitarios

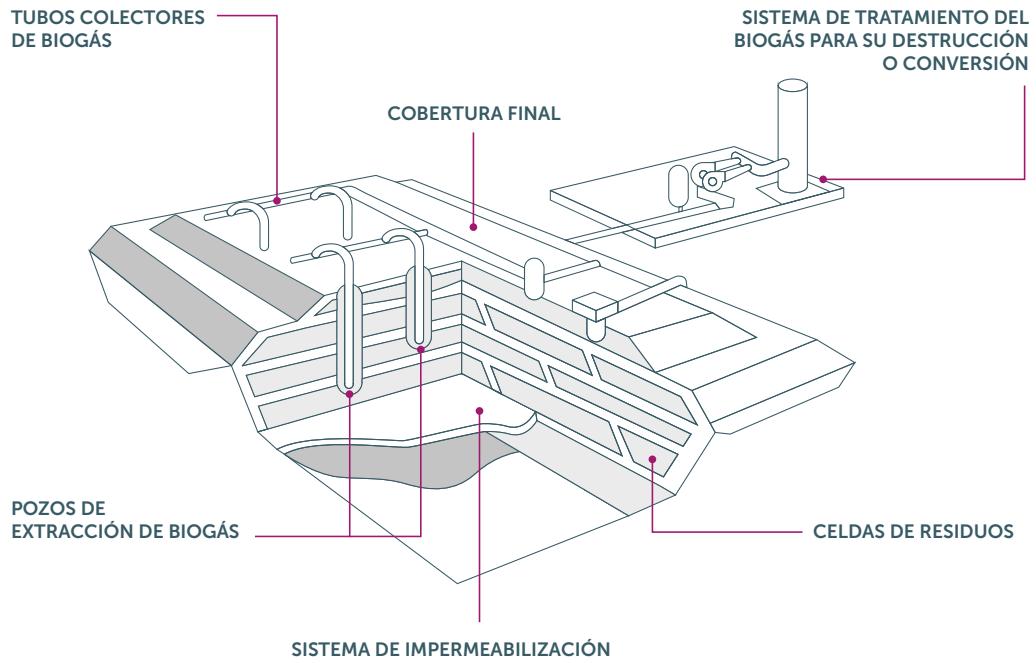
SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL BIOGÁS PARA SU DESTRUCCIÓN O CONVERSIÓN	RANGO DE EFICIENCIA (%)	EFICIENCIA ESTÁNDAR (%)
<b>Antorcha cerrada</b>	98-99	99
<b>Turbina de vapor</b>	96-99	98
<b>Turbina a gas</b>	90-99	95
<b>Motor de combustión interna</b>	90-99	93

Fuente: elaboración propia con base en el AP-42 de la *EPA, 5th Edition, Ch.2.2.4 Municipal Solid Waste Landfills*, Tabla 2.4-3.

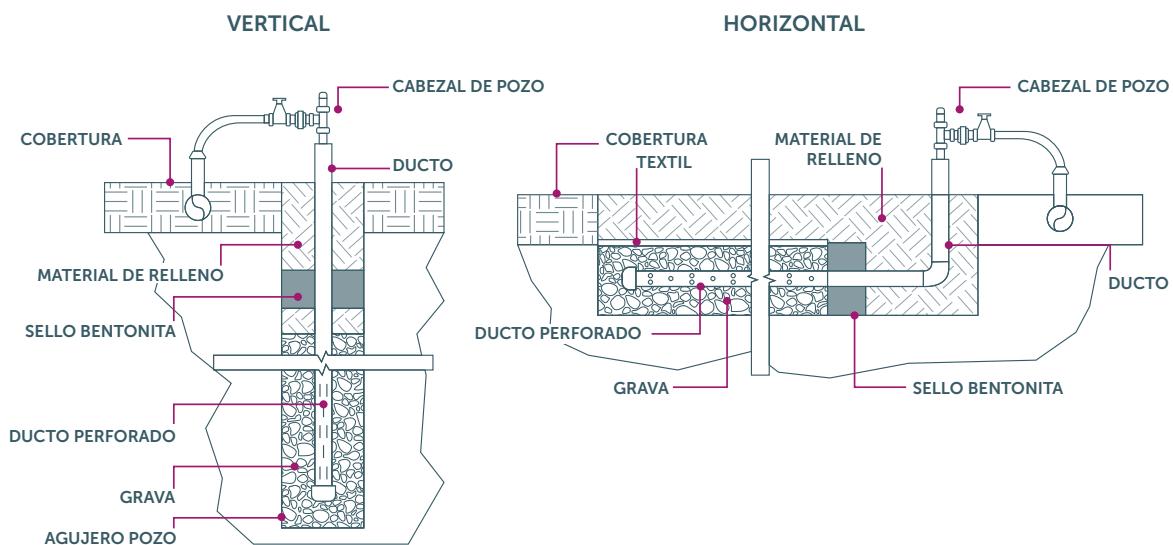
Las tecnologías de turbina a vapor, turbina a gas y el motor de combustión interna pueden utilizar la energía calórica de la combustión del gas para generar otro tipo de energías, como mecánica o eléctrica (valorización energética), mientras que la antorcha, es aquel equipo donde se combusciona el gas sin que exista aprovechamiento energético<sup>151</sup>.

<sup>151</sup> Con base en la definición de "antorcha" del artículo 5º del Decreto 119, del Ministerio de Energía, que aprueba reglamento de seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas.

**Figura 2.** Esquema simplificado de captura y tratamiento de biogás en relleno sanitario



5.



Fuente: elaboración propia con base en *Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios*, Daniel López Arriaza, 2016.

# ANEXOS



## ANEXO 1. BIBLIOGRAFÍA

B.S. Consultores (2015). *Informe Final Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental*. Santiago, Chile. Disponible en el Centro de Documentación de su sitio web, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl) (revisado 02.09.25).

Cámara Chilena de la Construcción (2022). *Una Aproximación de la Demanda de Áridos de Largo Plazo en Chile*. Santiago, Chile. Disponible en el sitio web, [17-Informe-Proyección-Aridos-Chile-v4-OP-19-07-24.pdf](https://www.camchile.cl/17-Informe-Proyeccion-Aridos-Chile-v4-OP-19-07-24.pdf).

Environmental Protection Agency United States (EPA) (2025). AP-42: *Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources*. Disponible en el sitio web, [AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources | US EPA](https://www.epa.gov/air-emissions-factors-stationary-sources) (revisado 02.09.25).

Environmental Protection Agency United States (EPA) (2011). *Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Landfills*. Disponible en el sitio web, [GHG Control Technology Whitepaper for Landfills final 6\\_17\\_11.docx](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/ghg-control-technology-whitepaper-for-landfills-final-6_17_11.docx) (revisado 02.09.25).

European Environment Agency (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*. Disponible en el sitio web, [EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 | European Environment Agency's home page](https://www.eea.europa.eu/publications/emeep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook-2023) (revisado 02.09.25).

Gobierno de Canadá (2017). *Pits and quarries reporting guide*. Disponible en el sitio web, [Pits and quarries reporting guide - Canada.ca](https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/mining-industry/pits-quarries-reporting-guide.html) (revisado 02.09.25).

IPCC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Disponible en el sitio web, [Publications - IPCC-TFI](https://www.ipcc-tfi.org/publications/) (revisado 02.09.25).

IPCC (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en el sitio web, [WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf) (revisado 02.09.25).

IPCC (2018). Anexo I: *Glosario* [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: *Calentamiento global de 1,5°C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza* [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock,

- S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)]. Disponible en el sitio web, [SR15\\_AnnexL.pdf](#) (revisado 02.09.25).
- IPCC (2021a). *VI Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático*.
- IPCC (2021b). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Disponible en el sitio web, [Climate Change 2021: The Physical Science Basis | Climate Change 2021: The Physical Science Basis \(ipcc.ch\)](#) (revisado 02.09.25).
- Midwest Research Institute (MRI) (2006). *Background Document for Revisions to Fine Fraction Ratios Used for AP-42 Fugitive Emission Factors, prepared for the WRAP*. Disponible en el sitio web, [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/background\\_document\\_for\\_revisions\\_to\\_fine\\_fraction\\_ratios\\_used\\_for\\_ap-42\\_fugitive\\_dust\\_emission.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/background_document_for_revisions_to_fine_fraction_ratios_used_for_ap-42_fugitive_dust_emission.pdf) (revisado 02.09.25).
- Ministerio de Energía (2022). *Informe Balance Nacional de Energía 2020*. Primera edición. Santiago, Chile. Disponible en el sitio web, <https://energia.gob.cl/>.
- Ministerio de Energía (2023). *Agenda Inicial para un Segundo Tiempo de la Transición Energética*. Santiago, Chile. Disponible en el sitio web, <https://energia.gob.cl/>.
- Ministerio de Obras Públicas (2006). *Análisis comparativo de la eficiencia de supresores de polvo mediante el uso del equipo DUSTMATE y el efecto económico para la conservación rutinaria y periódica de carpetas granulares*. Región del Maule, Chile.
- Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (2022). *Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP) Etapa II*. Santiago, Chile. Disponible en el sitio web, <https://biblioteca.mtt.gob.cl/>.
- Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Antofagasta (2022). *Banco de alternativas de compensación de emisiones para la ciudad de Calama y su área circundante. Informe Final Parte 1: Metodología determinación de parámetros asociados al cálculo de emisiones de polvo en calles de Calama*. Disponible en el sitio web de calidad del aire de la Región Metropolitana: [Plan para la ciudad de Calama y su área circundante – PPDA](#).
- Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región Metropolitana (2020). *Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana*. Santiago, Chile. Disponible en el sitio web de calidad del aire de la Región Metropolitana: <https://airerm.mma.gob.cl/>.

Servicio de Evaluación Ambiental (2015). *Guía calidad del aire en el área de influencia de proyectos que ingresan al SEIA*. Primera edición. Santiago, Chile. Disponible en el Centro de Documentación de su sitio web, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl).

Servicio de Evaluación Ambiental (2017). *Guía para la descripción de la acción del transporte terrestre en el SEIA*. Primera edición. Santiago, Chile. Disponible en el Centro de Documentación de su sitio web, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl).

Servicio de Evaluación Ambiental (2023). *Criterio de Evaluación en el SEIA: Alcances y principios metodológicos para la evaluación de los impactos ambientales*. Primera edición. Santiago, Chile. Disponible en el Centro de Documentación de su sitio web, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl).

Servicio de Evaluación Ambiental (2023). *Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA*. Segunda edición. Santiago, Chile. Disponible en el Centro de Documentación de su sitio web, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl).

Servicio de Evaluación Ambiental (2024). *Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA*. Tercera edición. Santiago, Chile. Disponible en el Centro de Documentación de su sitio web, [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl).

Subsecretaría del Medio Ambiente (2017). *Manual para Desarrollo de Inventarios*. Santiago, Chile.

The Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants (CCAC) (2014). *Time to act to reduce short-lived climate pollutants*. Paris, Francia. Disponible en el sitio web, [Climate and Clean Air Coalition | Homepage | Climate & Clean Air Coalition](http://ClimateAndCleanAir.org).

US EPA (2011). *SPECIATE database version 4.3*, U.S. Environmental Protection Agency's (EPA). Disponible en el sitio web, <http://cfpub.epa.gov/si/speciate/> (revisado 02.09.25).

Visschedijk, A.J.H., Pacyna, J., Pulles, T., Zandveld, P. and Denier van der Gon, H. (2004). 'Coordinated European Particulate Matter Emission Inventory Program (CEPMEIP)'. En: P. Dilara et al. (eds.), *Proceedings of the PM emission inventories scientific workshop*, Lago Maggiore, Italy, 18 October 2004. EUR 21302 EN, JRC, pp. 163–174.

Western Regional Air Partnership's (WRAP) (2006). *Fugitive Dust Handbook, Chapter 3. Construction and Demolition*.

## ANEXO 2. FORMATO REPORTE DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

El Anexo de una DIA o EIA que dé cumplimiento y justifiquen la estimación de emisiones atmosféricas deberá presentarse en un formato estandarizado, para lo cual se recomienda estructurar este estudio de la siguiente forma y contenidos.

1. Introducción (máximo 1 página)
2. Antecedentes generales del proyecto (máximo 2 páginas)
  - 2.1. Descripción (en caso de corresponder a una modificación de proyecto, deberá incluir información del proyecto a modificar)
  - 2.2. Localización (cartografía)
  - 2.3. Cronograma general (en años cronológicos)
3. Estimación de emisiones del proyecto
  - 3.1. Ecuación general para el cálculo de emisiones
  - 3.2. Actividades o fuentes de emisión
  - 3.3. Cronograma de actividades emisoras (en años cronológicos)
  - 3.4. Cálculo de emisiones de fase de construcción
    - 3.4.1. Emisiones de la actividad o fuente 1
      - 3.4.1.1. Factor(es) de emisión
      - 3.4.1.2. Nivel de actividad
      - 3.4.1.3. Emisiones por año cronológico
    - 3.4.2. Emisiones de la actividad o fuente 2
    - 3.4.n. Emisiones de la actividad o fuente "n"
  - 3.4.n+1. Resumen emisiones por año cronológico para cada actividad durante la fase de construcción
  - 3.5. Cálculo de emisiones de fase de operación
    - 3.5.1. Emisiones de la actividad o fuente 1
      - 3.5.1.1. Factor(es) de emisión
      - 3.5.1.2. Nivel de actividad
      - 3.5.1.3. Emisiones por año cronológico
    - 3.5.2. Emisiones de la actividad o fuente 2

3.5.n. Emisiones de la actividad o fuente "n"

3.5.5.n+1. Resumen emisiones por año cronológico para cada actividad durante la fase de operación

3.6. Cálculo de emisiones de la fase de cierre

3.6.1. Emisiones de la actividad o fuente 1

3.6.1.1. Factor(es) de emisión

3.6.1.2. Nivel de actividad

3.6.1.3. Emisiones por año cronológico

3.6.2. Emisiones de la actividad o fuente 2

3.6.n. Emisiones de la actividad o fuente n

3.6.n+1. Resumen emisiones por año cronológico para cada actividad durante la fase de cierre

3.7. Resumen de emisiones por año cronológico y fase del proyecto

4. Análisis normativo. En función a la aplicación de algún PPDA dependiendo del sitio de emplazamiento del proyecto, además de acciones que deriven en emisiones directas o indirectas (máximo 3 páginas)

5. Bibliografía (máximo 1 página)

6. Anexos

Los "Anexos" del Estudio, indicados en el numeral 6º anterior, se refieren a toda la información con la cual se justifiquen parámetros de los factores de emisión, niveles de actividad u otra información relevante para la estimación, por ejemplo, fichas técnicas de vehículos y maquinarias fuera de ruta, mapas formato kmz, entre otros. Estos deben ser incluidos en orden secuencial de aparición en el estudio.

