



## **ANEXO V**

---

# **Emisiones atmosféricas y calidad del aire**

Declaración de Impacto Ambiental  
Proyecto Parque Señora Gabriela

**PRAMAR ambiental**

---

## V.1 ANTECEDENTES GENERALES

Este anexo complementa el análisis de las principales emisiones atmosféricas generadas por el proyecto, incluidas en el Capítulo 3 de la presente Declaración de Impacto Ambiental.

Tal como se señala en el citado capítulo, no se identificaron fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos significativas durante las etapas de operación y abandono del proyecto, motivo por el cual, el presente Anexo se analizarán en detalle las actividades que generarán emisiones atmosféricas durante la etapa de construcción.

El presente anexo se estructura de la siguiente forma:

- Antecedentes generales (presente acápite)
- Identificación de las fuentes de emisión del proyecto
- Monto de las emisiones del proyecto.
- Dispersión de las emisiones.

## V.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DEL PROYECTO

Las principales fuentes de emisión de material particulado del proyecto corresponden a las relativas a las actividades de construcción de las obras: movimiento de tierra (incluye nivelación y excavación de fundaciones), levantamiento de polvo por tránsito vehicular (maquinaria de construcción y vehículos livianos), y emisiones por combustión (generadores).

La Tabla V.1 presenta las fuentes potenciales de emisión en la etapa de construcción.

**TABLA V.1  
FUENTES DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA - ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

FUENTE			CONTAMINANTE <sup>(2)</sup>
Nº	DESCRIPCIÓN	TIPO <sup>(1)</sup>	
<b>CONSTRUCCIÓN DE CENTRAL EÓLICA</b>			
1	Movimiento de tierra (excavación y compactación).	Movimiento de tierra (Ec. N°1)	MP10
2	Carga de material de relleno.	Carga de material (Ec. N°2)	MP10
3	Transporte de material de relleno a obra.	Circulación vehicular (Ec. N°4)	MP10
4	Descarga de material de relleno.	Descarga de material (Ec. N°3)	MP10
5	Operación de generador.	Emisiones por combustión (Ec. N°5)	MP10, SO <sub>2</sub>
6	Tránsito de camiones y maquinaria de construcción.	Circulación vehicular (Ec. N°4)	MP10
7	Tránsito de vehículos pesados (materiales de construcción, equipos, residuos)	Circulación vehicular (Ec. N°4)	MP10
8	Tránsito de vehículos livianos (personal e insumos)	Circulación vehicular (Ec. N°4)	MP10

(1) En paréntesis se indica la ecuación utilizada según tipo de fuente (ver V.3).

**TABLA V.1**  
**FUENTES DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA - ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

FUENTE		CONTAMINANTE <sup>(2)</sup>
Nº	DESCRIPCIÓN	TIPO <sup>(1)</sup>

(2) MP10: Material particulado respirable; SO<sub>2</sub>: Dióxido de azufre.

La tasa de emisión de material particulado depende de las técnicas constructivas y de las condiciones del terreno. En particular, la naturaleza y humedad de los materiales juegan un papel fundamental. Las actividades referidas, también implican la emisión de contaminantes asociados al empleo de combustibles fósiles en la operación de maquinaria pesada y tránsito de vehículos (SO<sub>2</sub>, CO, COV, NO<sub>x</sub>, etc.); sin embargo, estas últimas se consideran de poca relevancia, dada su escasa magnitud y corta duración.

### V.3 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE ECUACIONES Y FACTORES DE EMISIÓN

Este acápite presenta la identificación y selección de las ecuaciones y factores de emisión, para cada tipo de fuente indicado en la Tabla V.1.

Todos los factores señalados provienen de la siguiente referencia:

US EPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", AP-42. Fifth Edition (2002).

Para cada tipo de fuente emisora se señala la siguiente información:

- Referencia específica al interior del Manual EPA AP-42.
- Ecuación(es) utilizada(s).
- Símbolos usados en la(s) ecuación(es).
- Calidad del factor de emisión, en una escala de A a E, de acuerdo a lo siguiente:
  - Excelente.
  - Superior al promedio.
  - Promedio.
  - Inferior al promedio.
  - Pobre.

#### V.3.1 Ecuaciones

##### V.3.1.1 Movimiento de tierra

- Referencia

Manual EPA AP-42, Sección 11.9-Western Surface Coal Mining, Tabla 11.9-4 (Topsoil removal by

scraper).

- Ecuación

$$E = FE * flujo * r \quad (1)$$

- Símbolos

E : Tasa de emisión de MP10 (kg/hr).

FE : Factor de emisión de MP10 (kg/Mg). Su valor es de 0,01305 kg/Mg.

flujo : Flujo volumétrico de material removido/compactado (m<sup>3</sup>/hr).

r : Densidad del material (Mg/m<sup>3</sup>).

- Calidad del factor de emisión: E.

#### V.3.1.2 Carga de material

- Referencia

Manual EPA AP-42, Sección 11.9-Western Surface Coal Mining, Tabla 11.9-4 [*Truck loading by power shovel (batch drop)*].

- Ecuación

$$E = FE * flujo * r \quad (2)$$

- Símbolos

E : Tasa de emisión de MP10 (kg/hr).

FE : Factor de emisión de MP10 (kg/Mg). Su valor es de 0,0081 kg/Mg.

flujo : Flujo volumétrico de material cargado (m<sup>3</sup>/hr).

r : Densidad material (Mg/m<sup>3</sup>).

- Calidad del factor de emisión: E.

#### V.3.1.3 Descarga de material

Manual EPA AP-42, Sección 11.9-Western Surface Coal Mining, Tabla 11.9-4 [*Scraper unloading (batch drop)*].

- Ecuación

$$E = FE * flujo * r \quad (3)$$

- Símbolos
  - E : Tasa de emisión de MP10 (kg/hr).
  - FE : Factor de emisión de MP10 (kg/Mg). Su valor es de 0,009 kg/Mg para procesos de descarga en lote (utilizado en las actividades de construcción).
  - flujo : Flujo volumétrico de material cargado (m<sup>3</sup>/hr).
  - r : Densidad material (Mg/m<sup>3</sup>).

- Calidad del factor de emisión: E.

#### V.3.1.4 Circulación vehicular

- Referencia

Manual EPA AP-42, Sección 13.2.2-Unpaved Roads, Ecuación 1.

- Ecuaciones

$$E = \frac{FE * D * NV}{NH} \quad (4)$$

$$FE = k * 1,7 * \left(\frac{S}{12}\right) * \left(\frac{S}{48}\right) * \left(\frac{W}{2,7}\right)^{0,7} * \left(\frac{W}{4}\right)^{0,5} * \left(\frac{31-p}{31}\right)$$

- Símbolos
  - E : Tasa de emisión de MP10 (kg/hr).
  - FE : Factor de emisión de MP10 (kg/km-vehículo).
  - D : Distancia de viaje (km).
  - NV : N° de viajes mensuales (vehículos/mes).
  - NH : Número de horas mensuales en que se producen los viajes (hr/mes).
  - K : Multiplicador que depende del tamaño de la partícula (adimensional). Vale 0,36 para MP10.
  - S : Contenido de finos en la superficie del camino (%).
  - S : Velocidad promedio del vehículo (km/hr).
  - W : Peso promedio del vehículo (Mg).
  - W : N° medio de ruedas de los vehículos.
  - p : Días al mes con más de 0,254 mm de precipitaciones (días/mes).

- Calidad del factor de emisión: A para condiciones secas ( $p = 0$ ) y B para condiciones anuales y estacionales ( $p > 0$ ).

Notas:

El efecto del riego de los caminos se puede considerar en el valor de  $p$ .

Se estiman las emisiones del camión en el viaje de ida con el camión cargado (WC) y en el viaje de regreso con el camión descargado (WD).

#### V.3.1.5 Operación de generadores

- Referencia

Manual EPA AP-42, Sección 3.3 - Gasoline and Diesel Industrial Engines, Tabla 3.3-1.

- Ecuación

$$E = FE * P \quad (5)$$

- Símbolos

E : Tasa de emisión del contaminante en cuestión (kg/hr).

$FE_{MP10}$  : Factor de emisión de MP10 (kg/kw-hr). Su valor es de 0,00134 kg/kw-hr.

$FE_{SO2}$  : Factor de emisión de SO<sub>2</sub> (kg/kw-hr). Su valor es de 0,00125 kg/kw-hr.

P : Potencia (kw).

- Calidad del factor de emisión: D para MP10, D para SO<sub>2</sub>, D para NO<sub>x</sub> y D para CO.

#### V.4 **MONTO DE EMISIONES DEL PROYECTO**

A continuación se presentan tablas con la estimación de las emisiones de material particulado a la atmósfera para la etapa de construcción

Las Tabla V.2 y V.3 presentan las tasas de emisión estimadas de MP10 y SO<sub>2</sub>, asociadas a cada una de las actividades de construcción que se realizarán como parte del proyecto, y en base a las ecuaciones y factores de emisión presentados anteriormente. Por otra parte, la Tabla V.4 presenta el detalle de los supuestos utilizados para el cálculo de las emisiones durante la etapa de construcción.

En resumen, durante la construcción de una Central Eólica de 9 MW (central de mayor tamaño a construir) y considerando la ejecución simultánea de todas las fuentes (escenario

conservador) se emitirá un máximo de 1,37 kg/hr (10,96 kg/día)<sup>1</sup> de MP10 y de 0,06 kg/hr (0,48 kg/día)<sup>1</sup> de SO<sub>2</sub>.

Finalmente, producto del bajo nivel de emisiones, la distancia entre las obras al centro poblado más cercano ( construcciones al sur de la localidad de Caldera), y las concentración máxima estimada para los meses en que se ejecutaran las obras (ver Acápite V.5), se concluye que las emisiones atmosféricas durante la construcción no tienen impactos significativos.

**TABLA V.2**  
**EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE MP10 – ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

Fuentes número	ACTIVIDAD	EMISIONES MP10 (kg/hr)
C.1	Movimiento de tierra (excavación y compactación).	0,746
C.2	Carga de material de relleno.	0,029
C.3	Transporte de material de relleno a obra.	0,250
C.4	Descarga de material de relleno.	0,040
C.5	Operación de generador.	0,067
C.6	Tránsito de camiones y maquinaria de construcción.	0,201
C.7	Tránsito de vehículos pesados (materiales de construcción, equipos, residuos)	0,010
C.8	Tránsito de vehículos livianos (personal e insumos)	0,027
<b>TOTAL</b>		<b>1,370</b>

**TABLA V.3**  
**EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE SO<sub>2</sub> – ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

Fuentes número	ACTIVIDAD	EMISIONES MP10 (kg/hr)
C.5	Operación de generador	0,063
<b>TOTAL</b>		<b>0,063</b>

<sup>1</sup> Las emisiones diarias de MP10 y de SO<sub>2</sub> se estimaron a partir de las emisiones horarias multiplicadas por el largo de la jornada de trabajo durante la etapa de construcción (8 hr/día), para todas las actividades.

**TABLA V.4**  
**SUPUESTOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES - ETAPA DE CONSTRUCCIÓN<sup>1</sup>**

REMOCIÓN/MOVIMIENTO DE TIERRA (EC. N°1), CARGA DE MATERIAL (EC. N°2) Y DESCARGA DE MATERIAL (EC. N°3)										
Fuentes número	Total material (m³)	Flujo de material (m³/hr)	Densidad (Mg/m³)	Duración (meses)						
C.1	4.000	35,7	1,6	0,5						
C.2	1.000	2,2	1,6	2						
C.4	1.250	2,8	1,6	2						
CIRCULACIÓN VEHICULAR (EC. N°4)										
Fuente número	NV (veh/mes)	D (km)	NH (hr/mes)	S (km/hr)	WC (Mg)	WD (Mg)	w (ruedas)	p	s (%)	k
C.3	18,29	2,5	1,14	40	60	10	6	20	0,03	0,36
C.6	260	5	37,14	35	35	10	6	20	0,03	0,36
C.7	361	15	135,38	40	35	10	6	20	0,03	0,36
C.8	20	15	6	50	1,5	0,5	4	20	0,03	0,36
OPERACIÓN DE GENERADORES (EC. N°5)										
Fuente número	Cantidad de generadores	Potencia de generador (kw)		Horas de funcionamiento (hr/día)						
C.5	1	50		8						

(1) Para todas las actividades a realizar durante la etapa de construcción, se consideró una jornada de trabajo de 8 hr/día y 24 días de trabajo al mes.

## V.5 DISPERSIÓN DE LAS EMISIONES

El presente acápite caracteriza cuantitativamente la dispersión de las emisiones de material particulado respirable (MP10) que se generará durante la etapa de construcción del proyecto.

La herramienta más comúnmente utilizada para caracterizar cuantitativamente los efectos de determinadas emisiones sobre la calidad del aire, es la aplicación de modelos matemáticos. Estos modelos permiten estimar la distribución espacial de las concentraciones del compuesto modelado, basándose en las características de las emisiones (ubicación, tasa másica, velocidad de salida, altura de la emisión, temperatura, etc.), características del terreno (topografía, vegetación, cuerpos de agua, etc.), datos meteorológicos, y ecuaciones de balance de masa y energía.

El modelo seleccionado para la modelación de las emisiones en las etapas de construcción y operación del proyecto, fue el modelo SCREEN-3 de la EPA.

### V.5.1 Descripción del modelo

El modelo SCREEN-3 de la EPA realiza cálculos de corto plazo (horarios), que incluyen la estimación de las concentraciones máximas a nivel del suelo a distintas distancias viento abajo de la fuente.

Este modelo es capaz de examinar un conjunto de clases de estabilidad atmosférica y de velocidades de viento, para identificar las condiciones meteorológicas más desfavorables para la dispersión de los contaminantes, es decir, identifica la combinación de velocidad del

viento y estabilidad atmosférica que resulta en el máximo nivel de concentración del contaminante a nivel del suelo.

Dependiendo del tipo de fuente considerada (puntual o de área), el modelo usa distintos datos de entrada. Para las fuentes puntuales, los datos de entrada corresponden a las características de las emisiones (tasa de emisión, velocidad y temperatura de salida de los gases, diámetro interno y altura de la chimenea), a las características del terreno y a la temperatura ambiente. Para las fuentes de área, los datos de entrada consisten en las características de las emisiones (tasa de emisión por unidad de área, altura de la fuente, y largo y ancho de la fuente) y características del terreno.

Las principales limitaciones de este modelo son las siguientes:

- No modela fenómenos en el largo plazo, como promedios estacionales o anuales (pero se pueden extrapolar usando coeficientes adecuados).
- No modela fuentes múltiples. Por lo tanto, en el caso de existir más de una fuente, los resultados del modelo se deben adaptar utilizando la superposición.
- No considera que el contaminante pueda sufrir cambios químicos.
- Supone que no existen otros procesos de remoción, como depositación seca o húmeda.

El modelo entrega como resultado, para cada compuesto modelado, un listado con las concentraciones a nivel del suelo a diferentes distancias viento abajo de la fuente emisora.

### V.5.2 Modelación de emisiones

En el Acápito V.2 se identificó para la etapa de construcción las fuentes potenciales de emisión de material particulado respirable (ver Tabla V.1).

Las principales fuentes de emisión en esta etapa corresponden al movimiento de tierra, operación de motores de combustión y circulación de vehículos asociadas a la construcción de las obras. Para la modelación de la dispersión del contaminante se considerará que el total de las actividades de construcción de una central se producirán en forma simultánea. Durante la construcción, las emisiones se generarán en el entorno a los ejes donde se localizarán los aerogeneradores, por lo cual, es posible agrupar las actividades como una fuentes de área (50 m de ancho x 3 km de largo). Sin embargo, dado que el modelo SCREEN3 es aplicable a fuentes de áreas cuya razón (lado menor/lado mayor) es menor a 1:10, se debió modelar, en 6 tramos lineales de 500 x 50 m<sup>2</sup>.

La modelación de la dispersión de material particulado respirable en la etapa de construcción se realizó considerando el escenario más pesimista de emisiones para el proyecto:

- a) En primer lugar, se modeló la dispersión de las emisiones en el escenario más conservador, es decir, considerando la construcción de una central de 9 MW (central de mayor tamaño a construir).
- b) En segundo lugar, se modeló la dispersión de las emisiones considerando que todas las fuentes de emisión operarán en forma simultánea (excavaciones, transporte de material de relleno, etc.).
- c) En tercer lugar, se modeló para las peores condiciones meteorológicas y de estabilidad atmosférica, motivo por el cual se seleccionó precisamente el modelo SCREEN-3. Este modelo estima las concentraciones máximas, que se darían con la "peor" combinación de velocidad del viento y de clase de estabilidad atmosférica. En la práctica, estas condiciones nunca o casi nunca se dan, por lo que las concentraciones reales son siempre inferiores a las estimadas con este modelo.
- d) Finalmente, el modelo considera el peor escenario de localización respecto al receptor, es decir, que el receptor se ubicase justo viento abajo de cada fuente individual. Esto en la práctica no es posible, porque las fuentes (en el tramo evaluado y tramos adyacentes) no estarán alineadas en línea recta con el receptor, con lo que se sobreestima la concentración total.

De esta forma, los pasos para realizar la modelación fueron:

- Cálculo de la tasa de emisión ( $\text{g/s} \cdot \text{m}^2$ ) (Tabla V.2 y V.3).
- Modelación de las emisiones de MP10 por construcción de obras. Se consideraron 6 fuentes de área de  $500 \times 50 \text{ m}^2$  (operando en forma simultánea y en dirección del receptor, a lo largo del eje de la central). Incluye excavaciones, construcción de camino de servicio, fundaciones, etc.
- Modelación de las emisiones de  $\text{SO}_2$  por operación de generador.
- Finalmente, los resultados de concentración horaria entregados por el modelo SCREEN-3, se multiplicaron por 0,4 para obtener la concentración promedio de 24 horas (factor de conversión recomendado por el modelo SCREEN-3). La normativa chilena para material particulado respirable y para el dióxido de azufre regula valores promedio diarios ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para MP10 y  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{SO}_2$ ), por tanto, para poder realizar una comparación con la norma, se aplicó el factor de conversión recomendado a los valores horarios obtenidos.

La Tabla V.5 presenta los datos de entrada al modelo.

**TABLA V.5**  
**DATOS DE ENTRADA AL MODELO SCREEN-3 - ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

FUENTE	TASA DE EMISIÓN DE MP10 (g/s-m <sup>2</sup> )	TASA DE EMISIÓN DE SO <sub>2</sub> (g/s-m <sup>2</sup> )	ALTURA DE EMISIÓN (m)	ALTURA DEL RECEPTOR (m)	LADO (m)	LADO 2 (m)	NÚMERO DE FUENTES <sup>1</sup>
Actividades C.1 a C.8	0,25E-05	0,11E-06	0	2	500	50	6

(1) El modelo SCREEN-3 no soporta fuentes de área con una razón entre su lado mayor y su lado menor superior a 10. Por lo tanto, para la modelación de MP10, la superficie (0,15 km<sup>2</sup>) fue dividida en 6 tramos de 500 m x 50 m.

La Tabla V.6 presenta el incrementos máximo en las concentraciones diarias de MP10 en el receptor más cercano que corresponde a las construcciones que están ubicadas al sur de la localidad de Caldera, y que se localiza a 3,6 km de la Central Gabriela 18 (central más cercana) y a una distancia 13,0 km de la Central Gabriela 12(central más alejada).

**TABLA V.6**  
**INCREMENTOS MÁXIMOS EN LA CONCENTRACIÓN DIARIA DE MP10 DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

INCREMENTO MÁXIMO EN CONCENTRACIÓN DIARIA MP10 (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	DISTANCIA AL RECEPTOR (m)
15,08	3.600
2,73	13.000

(1) Se estimó multiplicando la concentración horaria por 0,4.

A partir de los resultados de la modelación, se observa que el incremento máximo de concentración de MP10 en el receptor, durante la construcción de cualquiera de las 20 centrales, variará entre 15,08 y 2,73 µg/m<sup>3</sup> de MP10, equivalentes a un 10,05 % y un 1,82 % de la norma de calidad del aire vigente (150 µg/m<sup>3</sup>N), respectivamente.

**TABLA V.7**  
**INCREMENTOS MÁXIMOS EN LA CONCENTRACIÓN DIARIA DE SO<sub>2</sub> DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

INCREMENTO MÁXIMO EN CONCENTRACIÓN DIARIA SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	DISTANCIA AL RECEPTOR (m)
0,69	3.600
0,12	13.000

(1) Se estimó multiplicando la concentración horaria por 0,4.

A partir de los resultados de la modelación, se observa que el incremento máximo de concentración de SO<sub>2</sub> en el receptor, durante la construcción de cualquiera de las 20 centrales, será inferior a 0,69 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub>, equivalentes a un 0,28% de la norma de calidad del aire vigente (250 µg/m<sup>3</sup>N).

Finalmente, producto del carácter temporal, del bajo nivel de emisiones, de la distancia entre las obras al centro poblado más cercano (construcciones ubicadas al sur de la localidad de Caldera) y de los incrementos máximos de concentraciones estimados, se concluye que las emisiones atmosféricas durante la construcción del proyecto no tienen impactos significativos en la calidad del aire del sector.

**V.5.3            Hojas de resultados**