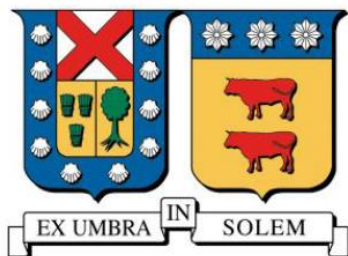


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN  
“REY BALDUINO DE BÉLGICA”**



**CALCULADORA DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS  
EN BASE A GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS  
EN LA REGIÓN METROPOLITANA.**

**ALUMNO : DANILO HUBE COFRÉ  
PROFESOR GUÍA : SR. PABLO RIQUELME**

**2022**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN  
“REY BALDUINO DE BÉLGICA”**

**CALCULADORA DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN BASE A GUÍA  
PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA  
REGIÓN METROPOLITANA.**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN GESTIÓN Y CONTROL  
AMBIENTAL.**

**ALUMNO : DANILO HUBE COFRÉ**

**PROFESOR GUÍA : PABLO RIQUELME**

**2022**

## RESUMEN

El presente trabajo de título es parte del desarrollo de una herramienta de cálculo digital (calculadora) para estimar las emisiones atmosféricas asociadas a los proyectos o actividades que se sometan o deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y presentar la estimación de sus emisiones contaminantes a la atmósfera para Material Particulado 10 (MP10), Material Particulado 2,5 (MP2,5), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (Sox), amoníaco (NH3), Monóxido de Carbono (CO) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).

La calculadora se desarrolla bajo la plataforma de Microsoft Excel y su metodología se basa en la Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la región Metropolitana, aplicando factores y formulas descritas de este documento.

La prueba de la calculadora se realiza mediante el cálculo de estimación de emisiones atmosféricas del proyecto de Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Curepto, que incluye la estimación de contaminantes para las actividades de demolición, excavación, carguío y volteo de material, resuspensión de tránsito vehicular, combustión de vehículos, combustión de maquinaria y grupos electrógenos.

Con ello se concluye que los resultados calculados de forma habitual son iguales a los obtenidos mediante la aplicación de la calculadora, verificando que el desarrollo de esta calculadora funciona correctamente. Además, los resultados de la estimación atmosférica de este proyecto son analizados en base a los planes de prevención y descontaminación atmosféricas involucrados en las zonas de influencia, verificando que en particular este proyecto no supera la concentración ambiental definidas por la norma primaria de calidad del aire y por lo tanto no está obligada a compensar sus emisiones.

## **ABSTRACT**

This title work is part of the development of a digital calculation tool (calculator) to estimate the atmospheric emissions associated with the projects or activities that are submitted or should be submitted to the Environmental Impact Assessment System and present the estimate of their polluting emissions. into the atmosphere for Particulate Matter 10 (PM10), Particulate Matter 2.5 (PM2.5), Nitrogen Oxides (NOx), Sulfur Oxides (Sox), Ammonia (NH3), Carbon Monoxide (CO) and Organic Compounds Volatiles (VOCs).

The calculator is developed under the Microsoft Excel platform and its methodology is based on the Guide for the Estimation of Atmospheric Emissions in the Metropolitan Region, applying factors and formulas described in this document.

The calculator test is carried out by calculating the estimation of atmospheric emissions of the Curepto Wastewater Treatment Plant (PTAS) Improvement project, which includes the estimation of pollutants for demolition, excavation, loading and dumping activities. of material, resuspension of vehicular traffic, combustion of vehicles, combustion of machinery and generator sets.

With this, it is concluded that the results calculated in the usual way are the same as those obtained by applying the calculator, verifying that the development of this calculator works correctly. In addition, the results of the atmospheric estimation of this project are analyzed based on the atmospheric prevention and decontamination plans involved in the areas of influence, verifying that in particular this project does not exceed the environmental concentration defined by the primary air quality standard. and therefore, is not required to offset its emissions.

# INDICE

|        |  |    |
|--------|--|----|
| I      | INTRODUCCION .....   | 1  |
| II     | OBJETIVO GENERAL .....   | 2  |
| 2.1    | OBJETIVOS ESPECIFICOS .....  | 2  |
| III    | EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....  | 3  |
| 3.1    | ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....  | 3  |
| 3.1.1  | La Experiencia Chilena .....   | 4  |
| 3.2    | LA ATMÓSFERA .....   | 6  |
| 3.3    | LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....  | 8  |
| 3.4    | ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES.....   | 9  |
| 3.4.1  | Fuentes Biogénicas .....   | 9  |
| 3.4.2  | Fuentes Antropogénicas .....   | 9  |
| 3.5    | CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES.....  | 10 |
| 3.5.1  | Contaminantes Primarios.....   | 10 |
| 3.5.2  | Contaminantes Secundarios .....  | 10 |
| 3.6    | ROL DE LA COMBUSTIÓN EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....   | 12 |
| 3.7    | PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA: ORÍGENES E IMPACTOS EN LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE ..... | 13 |
| 3.7.1  | Material Particulado (MP) .....  | 13 |
| 3.7.2  | Monóxido de carbono (CO).....  | 14 |
| 3.7.3  | Óxidos de nitrógeno (NOx).....   | 14 |
| 3.7.4  | Óxidos de azufre (SOx) .....   | 15 |
| 3.7.5  | Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) .....   | 15 |
| 3.7.6  | Plomo (Pb) .....   | 16 |
| 3.7.7  | Ozono troposférico (O3).....   | 16 |
| 3.8    | EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE LOS ECOSISTEMAS .....  | 18 |
| 3.8.1  | Lluvia ácida .....   | 18 |
| 3.8.2  | Destrucción de la Capa de Ozono.....   | 19 |
| 3.8.3  | Smog fotoquímico.....  | 20 |
| 3.8.4  | Efecto invernadero .....   | 20 |
| 3.9    | CONDICIONANTES GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS.....   | 21 |
| 3.9.1  | Anticiclón del Pacífico .....  | 22 |
| 3.9.2  | Vientos de circulación atmosférica planetaria .....  | 22 |
| 3.9.3  | Vientos de circulación local .....   | 23 |
| 3.9.4  | Inversión térmica .....  | 23 |
| 3.10   | LAS CIUDADES MÁS CONTAMINADAS .....  | 25 |
| 3.10.1 | En el Mundo.....   | 25 |

|        |  |           |
|--------|--|-----------|
| 3.10.2 | En Chile.....  | 26        |
| 3.11   | POLÍTICAS PÚBLICAS .....   | 28        |
| 3.11.1 | El Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire y la Red de Monitoreo .....       | 28        |
| 3.11.2 | Normas de emisión de contaminantes.....  | 29        |
| 3.11.3 | Normas de Calidad Ambiental .....  | 29        |
| 3.11.4 | Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA)...                            | 30        |
| <br>   |  |           |
| IV     | <b>GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA.....</b> | <b>34</b> |
| 4.1    | CONTAMINANTES.....   | 34        |
| 4.2    | DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES GENERADORAS DE EMISIONES.....                                 | 34        |
| 4.3    | ECUACIÓN GENERAL PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES .....                                      | 35        |
| 4.4    | ANÁLISIS DEL ARTÍCULO 64 DEL DS 31/2016 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. ....          | 36        |
| 4.5    | FRACCIÓN DE COMBUSTIÓN .....   | 37        |
| 4.6    | CONSIDERACIONES PCE PRELIMINAR .....   | 37        |
| 4.7    | ACTIVIDADES GENERADORAS DE EMISIONES .....   | 39        |
| 4.7.1  | DEMOLICIÓN.....  | 39        |
| 4.7.2  | MOVIMIENTO DE TIERRA .....   | 41        |
| 4.7.3  | RESUSPENSIÓN POR TRÁNSITO DE VEHÍCULOS .....   | 43        |
| 4.7.4  | COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS.....   | 47        |
| 4.7.5  | COMBUSTIÓN DE MAQUINARIA FUERA DE RUTA .....   | 55        |
| 4.7.6  | COMBUSTIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS .....  | 60        |
| <br>   |  |           |
| V      | <b>CALCULADORA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....</b>                          | <b>61</b> |
| 5.1    | DESCRIPCIÓN. ....  | 61        |
| 5.2    | MENÚ PRINCIPAL .....   | 62        |
| 5.3    | CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DEMOLICIÓN .....                                  | 63        |
| 5.4    | CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR MOVIMIENTO DE TIERRAS .....                       | 64        |
| 5.5    | CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR RESUSPENSIÓN DE TRÁNSITO VEHICULAR.....           | 65        |
| 5.6    | CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS .....                     | 67        |
| 5.7    | CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE MAQUINARIAS ..                      | 68        |
| 5.8    | CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR GRUPOS ELECTRÓGENOS .....                         | 69        |
| 5.9    | RESUMEN DEL CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES. ....                                     | 70        |
| 5.9.1  | DASHBOARD.....   | 70        |
| <br>   |  |           |
| VI     | <b>ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE PROYECTO EJEMPLO. ..</b>                  | <b>71</b> |
| 6.1    | CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO .....   | 71        |
| 6.2    | METODOLOGÍA .....  | 71        |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.3   | ACTIVIDADES GENERADORAS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....   | 72 |
| 6.4   | RESULTADOS.....   | 72 |
| 6.4.1 | Demolición .....  | 72 |
| 6.4.2 | Escarpe .....   | 73 |
| 6.4.3 | Excavaciones .....  | 74 |
| 6.4.4 | Carguío y volteo de material .....                        | 74 |
| 6.4.5 | Resuspensión De Tránsito Vehicular .....                  | 75 |
| 6.4.6 | Combustión de vehículos.....                              | 77 |
| 6.4.7 | Combustión Maquinaria.....                                | 79 |
| 6.4.8 | Grupo Electrónico.....                                    | 80 |
| 6.5   | RESUMEN DE CALCULOS.....                                  | 81 |
| 6.6   | PLANES DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICAS..... | 83 |
| VII   | CONCLUSIÓN.....   | 85 |
| VIII  | DISCUSIÓN.....  | 86 |
| IX    | LINKS DE INTERÉS.....                                     | 87 |

## ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

### INSTITUCIONES

EEA: Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency).

EMEP: Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación (European Monitoring and Evaluation Programme).

EPA: Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency).

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental.

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial.

SEREMI MA RM: Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región Metropolitana.

### ABREVIATURAS

PCE: Programa de Compensación de Emisiones.

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

RM: Región Metropolitana.

### CONTAMINANTES

CO: Monóxido de Carbono.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.

COVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano.

MP10: Material Particulado menor a 10 micrómetros o grueso.

MP2,5: Material Particulado menor a 2,5 micrómetros o fino.

NH<sub>3</sub>: Amoníaco.

NO<sub>x</sub>: Óxidos de Nitrógeno.

PTS: Partículas Totales en Suspensión. También puede ser llamado MP, haciendo referencia al material particulado total.

SO<sub>2</sub>: Dióxido de Azufre.

SO<sub>x</sub>: Óxidos de Azufre.

#### UNIDADES DE MEDIDA

g: gramo.

h: hora.

ha: hectárea.

kg: kilogramo.

km: kilómetro.

kW: kilowatt.

kWh: kilowatt hora.

l: litro.

MW: megawatt.

m: metro.

m<sup>2</sup>: metros cuadrados.

m<sup>3</sup>: metros cúbicos.

mm: milímetro.

ppm: partes por millón.

s: segundo.

t: tonelada.

μm: micrómetro.

## I INTRODUCCION

La contaminación atmosférica es responsable de graves impactos a la salud de la población con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Está relacionada a eventos de mortalidad prematura y admisiones hospitalarias, afectando especialmente a personas mayores de 65 años, menores de 8 años, y aquellos que presentan problemas de salud de carácter crónico (respiratorio o cardiovascular). Por otro lado, la contaminación atmosférica es responsable de producir impactos negativos en los ecosistemas, al contribuir con procesos como la lluvia ácida, el agotamiento de la capa de ozono y la generación de smog fotoquímico, además de contribuir al cambio climático.

En Chile, para prevenir este deterioro ambiental se tiene al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), instrumento que permite introducir la dimensión ambiental en el diseño u la ejecución de los proyectos y actividades que se realizan en el país, por ende, los proyectos o actividades y las modificaciones de los proyectos existentes, que se sometan o deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental deberán presentar la estimación de sus emisiones de contaminantes a la atmósfera al menos para MP10, MP2,5, NOx, SOx, NH3, CO y COVs.

En este sentido, tan importantes como las normativas que regulan las emisiones atmosféricas, son también las llamadas guías o herramientas que permiten su cálculo para estimarlas. Es por esto que existe una guía para la estimación de emisiones y que explica detalladamente las metodologías utilizadas para la estimación de emisiones atmosféricas, dando un marco teórico escrito para realizar estos cálculos, pero sin ser una herramienta práctica y rápida, lo cual hace que estimar las emisiones de un proyecto, sea un proceso demoroso y no tan simple de llevar a cabo.

La idea principal del trabajo de título es crear una calculadora amigable que permita simplificar este proceso y aprovechar las herramientas tecnológicas disponibles como es el conocido mundialmente Excel, de modo que esta herramienta sirva a los ingenieros ambientales, profesionales relacionados o incluso a personas comunes, realizar sus cálculos de estimación de emisiones a la hora de evaluar un proyecto.

## II OBJETIVO GENERAL

Optimizar el cálculo de estimación de emisiones atmosféricas a través del uso de herramientas tecnológicas digitales.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✍ Crear una calculadora para la estimación de emisiones atmosféricas mediante la aplicación de la guía para la estimación atmosférica de la región metropolitana en su versión 2020.
- ✍ Estimar las emisiones atmosféricas de un proyecto de ejemplo mediante el uso de la calculadora.
- ✍ Mostrar los resultados de la estimación de emisiones atmosférica mediante Dashboard incorporada en la calculadora creada.
- ✍ Analizar los resultados obtenidos de acuerdo con los planes de prevención y descontaminación atmosféricas involucrados en el proyecto de ejemplo.

### III EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

#### 3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En la actualidad, la gran mayoría de las personas asocia la contaminación de la atmósfera con el desarrollo industrial, el aumento del parque automotriz o el uso de combustibles como leña para calefacción. Sin embargo, este problema ha existido en nuestro planeta desde su conformación, asociado a eventos naturales tales como choque de meteoritos, erupciones volcánicas, incendios forestales, tormentas de polvo y arena.

Aparte de estas causas asociadas a fenómenos naturales, la aparición y el desarrollo de la especie humana en el planeta han implicado un progresivo aumento en la emisión de contaminantes a la atmósfera, empeorando la calidad del aire en muchas ciudades del planeta, donde se concentra gran parte de la población humana.

Con el paso del tiempo, a medida que las sociedades se fueron desarrollando y ampliando sus necesidades de producción y consumo, se explotaron otros recursos naturales y energéticos, que diversificaron y ampliaron las fuentes de la contaminación.

En la siguiente figura se muestra una escala de tiempo que señala un conjunto de acontecimientos significativos de desastres asociados a fenómenos de alta contaminación inducidas por la actividad humana, que han resultado emblemáticos para la toma de conciencia de la humanidad respecto de los riesgos asociados a la mala calidad del aire, sus nocivos efectos sobre la salud de las personas y la necesidad de actuar para combatirla.



Fuente: Ingeniería Ambiental, segunda edición. J. Glynn Henry y Gary W. Heinke.

Figura 1.1. Acontecimientos mundiales de contaminación del aire

### 3.1.1 La Experiencia Chilena

El problema de la mala calidad del aire se constata ya en los relatos de la época colonial, asociado al humo proveniente de fogatas, quemazones, incendios, polvo en suspensión y basurales en las principales ciudades de nuestro país. La preocupación de quienes la denunciaban se insertaba en el ámbito de la sanidad y la higiene pública. En enero de 1813, al inicio de la Patria Vieja, consta en las actas del Cabildo de Santiago la denuncia de que toda la atmósfera alrededor de la ciudad “estaba cargada de un humo espeso y caliente que causa notable variación en el temperamento” y se solicitaba a la Junta de Gobierno para que prohibiera “las quemazones de los campos inmediatos” a la ciudad, haciendo presente “los graves daños que hacen a la población estos abusos de los agricultores.”

Durante la primera mitad del siglo XX, los primeros especialistas comienzan a preocuparse de la problemática en Santiago, la cual se acentúa día a día producto del explosivo crecimiento demográfico de la ciudad y así como de la continua ampliación de su área urbana.

Es recién en la segunda mitad del siglo pasado cuando el problema de la contaminación atmosférica se convierte e instala como una preocupación permanente, llegando a niveles tales en las décadas de los 70 y 80 que incluso se habló de “tendencias al urbanicidio.”

La gestión de la calidad del aire se inició con medidas de comando y control, como fue la dictación del Decreto 144 del Ministerio de Salud, en 1961. Dicho decreto estableció “normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza”; sin embargo, no estableció límites de concentraciones, dejando esta potestad al Ministerio de Salud.

Las primeras mediciones sobre la calidad del aire en Chile datan del año 1964. En 1976, se instala y entra en funcionamiento la primera red de vigilancia de calidad del aire en la fundición Chagres, en el valle de Catemu, en la región de Valparaíso.

Posteriormente, en 1978, mediante la Resolución 1.215 del Ministerio de Salud, se definieron concentraciones máximas para algunos contaminantes, como partículas en suspensión, anhídrido sulfuroso, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos expresados como ozono y dióxido de nitrógeno, originándose así la primera norma de calidad del aire en el país.

En 1986, se instaló una nueva red de vigilancia de la calidad del aire en Chuquicamata, en la región de Antofagasta.

En 1988, el Ministerio de Salud creó la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire y Variables Meteorológicas en la Región Metropolitana, la Red MACAM, por sus siglas.

En este contexto, se evidenció que la Región Metropolitana, lugar de mayor concentración de la población chilena, registraba graves problemas de contaminación del aire y serios riesgos sobre las condiciones de salud de las personas. Ello motivó a que en el año 1990 se creara la Comisión Especial de Descontaminación para la Región, que actuaría como organismo responsable de las primeras medidas de control implementadas para la ciudad.

Continuando con el desarrollo de nuevas redes de vigilancia de la calidad del aire en zonas industriales de fundiciones y refinerías de cobre, en los años 1992 y 1993, se instalan en las localidades de Paipote y Potrerillos, en la región de Atacama; de Ventanas, en la región de Valparaíso; y de Caletones, en la región de O'Higgins.

Más tarde, en 1994, tras la promulgación de la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente, se intensifica la gestión para enfrentar la contaminación y mejorar la calidad del aire, estableciéndose para ello distintos instrumentos de gestión, que además de normas de emisión, incluyeron, entre otros, los planes de prevención y descontaminación.

Posteriormente, con la entrada en vigencia del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en 1997, aumentó el número de estaciones de monitoreo para el seguimiento y control de las emisiones, especialmente desde fuentes fijas industriales, termoeléctricas y mineras, asociadas a las exigencias que estableció el SEIA en la evaluación de proyectos que tenían impacto ambiental.

En el año 2005, comenzó a implementarse el Sistema de Información Nacional de calidad de aire (SINCA), que concentra toda la información disponible de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en Chile, para que cualquier persona pueda consultar por el estado del aire.

### 3.2 LA ATMÓSFERA

Para entender más a fondo el problema de la contaminación del aire, sus orígenes, sus efectos y sus dinámicas de funcionamiento, se hace primero necesario estudiar el medio en que se instala: La atmósfera es la primera capa gaseosa que envuelve a nuestro planeta, con un espesor aproximado de 10.000 kilómetros. En ella se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta, regula la entrada y salida de energía terrestre, y por ende su temperatura, y es el principal medio de transferencia del calor. Está constituida por una mezcla de gases entre los que se encuentran el Nitrógeno (N<sub>2</sub>), el Oxígeno (O<sub>2</sub>), el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), además de otros gases en cantidades minúsculas, tales como el argón, helio, neón y ozono. En las capas bajas de la atmósfera se encuentran el vapor de agua e impurezas en forma de polvo.



Fuente: www.educaplus.org

Figura 1.2 Composición de la atmósfera

La siguiente tabla muestra la composición en volumen de la atmósfera:

Tabla 1.1. Gases que componen la atmósfera

| Componente         | Fórmula química  | Porcentaje en volumen |
|--------------------|------------------|-----------------------|
| Nitrógeno          | N <sub>2</sub>   | 78.1%                 |
| Oxígeno            | O <sub>2</sub>   | 21.0%                 |
| Dióxido de Carbono | CO <sub>2</sub>  | 0.0350%               |
| Argón              | Ar               | 0.9300%               |
| Vapor de agua      | H <sub>2</sub> O | 0 - 4%                |
| Neón               | Ne               | 0.0018%               |
| Helio              | He               | 0.0005%               |
| Kriptón            | Kr               | 0.0001%               |
| Hidrógeno          | H <sub>2</sub>   | 0.0001%               |
| Ozono              | O <sub>3</sub>   | 0.0001%               |
| Xenón              | Xe               | 0.0001%               |
| Metano             | CH <sub>4</sub>  | 0.0002%               |

Fuente: Guía de calidad del aire y educación ambiental

La atmósfera a su vez puede ser dividida en diferentes capas en función al comportamiento de la temperatura en relación a su altura respecto de la superficie terrestre. Las capas que la constituyen son:

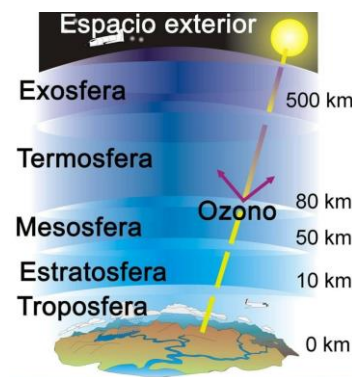
**Tropósfera:** Es la más cercana a la superficie terrestre, donde se forman las nubes y se desarrollan diversos procesos atmosféricos tales como las lluvias y los frentes. La temperatura del aire disminuye con la altura. En esta capa se acumula la mayor parte del vapor de agua y el CO<sub>2</sub>.

**Estratósfera:** En esta capa la temperatura comienza a aumentar con la altura, fenómeno que se le atribuye a la presencia del ozono (O<sub>3</sub>), puesto que es el gas que absorbe los rayos ultravioletas. Tanto la formación como la destrucción del ozono, se hace por reacciones fotoquímicas.

**Mesósfera:** Es una capa en que la temperatura vuelve a disminuir con la altura debido a la disminución de la concentración de ozono.

**Termósfera o Ionósfera:** En ésta la temperatura aumenta nuevamente con la altura. La presencia de partículas electrizadas da lugar a la presencia de capas ionizadas que tienen la propiedad de reflejar las ondas radio- eléctricas

**Exósfera:** Constituye la zona de transición entre nuestra atmósfera y el espacio exterior, contiene la mayor parte del ozono atmosférico y absorbe gran parte de la radiación ultravioleta.



Fuente: [www.meteorologiaenred.com](http://www.meteorologiaenred.com)

Figura 1.3 Capas de la atmósfera

### 3.3 LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Como hemos visto, la preocupación por la contaminación del aire viene de muchos años atrás. Está directamente relacionada con nuestros estilos de vida modernos, de cómo se construyen y planifican las ciudades, de la ineficiencia en la producción de los productos que consumimos y de los servicios que requerimos para nuestro confort, de las formas en que nos transportamos de un lugar a otro y de las fuentes energéticas que empleamos para calefaccionar e iluminar nuestros hogares y trabajos.

La Ley 19.300, de 1994, de Bases Generales del Medio Ambiente define, en su artículo 2, letras c) y d), indica lo siguiente:

- **Contaminación**, como la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente;
- **Contaminante**: todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, 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.

De aquí se deriva una definición para la contaminación atmosférica como la siguiente:

*“La presencia en el aire de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos en concentraciones o niveles tales que puedan 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”.*

### 3.4 ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes pueden ser originados mediante procesos naturales y también por la acción y actividades de la humanidad. Es por ello que según la naturaleza de la fuente emisora pueden ser clasificadas en biogénicas o antropogénicas.

#### 3.4.1 Fuentes Biogénicas

Corresponden a los eventos de contaminación producidos por fenómenos propios de la naturaleza. Entre éstos se encuentran las erosiones, los incendios forestales, las erupciones volcánicas, la descomposición de la vegetación y tormentas de polvo.

#### 3.4.2 Fuentes Antropogénicas

Estas corresponden a actividades o intervenciones que realizan las personas, siendo la principal causa la combustión de materiales, sea ésta originada por las industrias, los vehículos o en el hogar. Esta clasificación tiene a su vez una subdivisión en tres grupos: las fuentes fijas, las fuentes móviles y las fuentes fugitivas.

- **Las fuentes fijas** corresponden a aquéllas situadas en un lugar físico particular, definido e inamovible. Considera las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales.
- **Las fuentes móviles** corresponden a aquellas fuentes que sí pueden desplazarse: A éstas se asocian las emisiones de gases en tubos de escape, desgaste de frenos y neumáticos de distintos tipos de transporte motorizado, como automóviles, camiones, buses y motocicletas.
- **Las fuentes fugitivas**, comprenden emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como aquellas provenientes del tránsito de vehículos por calles sin pavimentar, de la construcción y las demoliciones, entre otras.

La contaminación atmosférica en las zonas urbanas puede empeorar considerablemente la calidad del aire que se respira en los espacios interiores, como hogares, oficinas y lugares cerrados en general. Especialmente, cuando se encuentran cercanos a alguna fuente de contaminación.

Y a la inversa, desde los espacios interiores se puede contribuir a la contaminación atmosférica de las ciudades. Esto es muy común en el centro y sur del país, donde la mayoría de los hogares utilizan la leña como combustible para calefacción y en algunos casos para cocinar. Así, esta práctica no sólo genera un impacto intradomiciliario, sino que también afecta la calidad del aire de sus propias ciudades.

Como hemos visto, la calidad del aire es dinámica y responde a las distintas fuentes de contaminación existentes en un momento (actividades económicas, procesos y tecnologías de combustión, composición de los combustibles utilizados, entre otros). Pero, como veremos más adelante, también depende de las condiciones y factores climáticos y geográficos de la región, ciudad o zona afectada. Y, por supuesto, de la eficacia de las medidas de restricción y control implementadas por las correspondientes autoridades ambientales.

### **3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES**

Los contaminantes de la atmósfera consisten en una gran variedad de gases, vapores y partículas, cuya presencia y cantidad afecta a las personas, las plantas, los animales y los materiales.

Según sea el origen de los contaminantes, éstos pueden clasificarse en dos grandes grupos -los primarios y los secundarios-, para así estudiar mejor su origen, distribución y tratamiento o prevención.

#### **3.5.1 Contaminantes Primarios**

Son aquellos que proceden directamente de las fuentes de emisión, tales como artefactos de calefacción domiciliarios, chimeneas industriales y tubos de escape de automóviles.

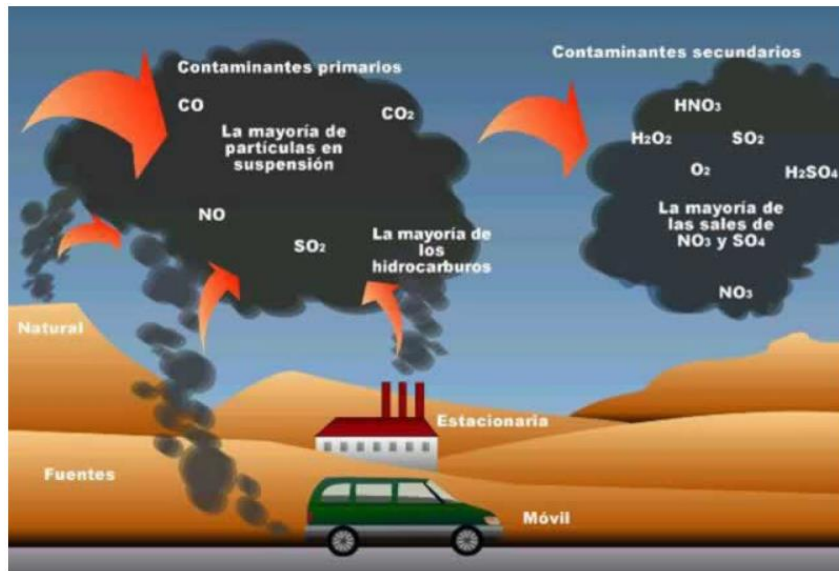
#### **3.5.2 Contaminantes Secundarios**

Son aquellos que se originan en el aire a raíz de reacciones químicas que pueden ocurrir entre dos o más contaminantes primarios, o entre contaminantes primarios y elementos propios de la atmósfera.

Tabla 1.2. Principales contaminantes primarios y secundarios presentes en el aire

| Contaminantes Primarios  | Contaminantes Secundarios       |
|--|---------------------------------|
| Óxidos de carbono (CO)   | O <sub>3</sub> (troposférico)   |
| Compuestos nitrogenados (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O) | Hidrocarburos oxidados          |
| Compuestos azufrados (SO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> )                      | Aerosoles orgánicos secundarios |
| Material Particulado (MP10 y MP2,5)  | Sulfatos                        |
| Hidrocarburos  | Nitratos                        |
| Metales  | Material Particulado secundario |

Fuente: Guía de calidad del aire y educación ambiental



Fuente: [www.monitoreoambiental.com](http://www.monitoreoambiental.com)

Figura 1.4 Contaminación primaria y secundaria.

### 3.6 ROL DE LA COMBUSTIÓN EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La combustión es una reacción de oxidación rápida que libera energía mediante la transformación química del combustible. Como es sabido, toda combustión requiere un combustible, un comburente y la energía de activación que permita alcanzar la temperatura de inflamación.

- El combustible es cualquier material que en presencia de oxígeno y aplicándole una energía de activación es capaz de arder. Como ejemplos tenemos el carbón, el gas, el petróleo y sus derivados; y toda materia orgánica como leña, madera, papel o cartón.
- El comburente es la sustancia que permite que el combustible pueda arder. Si bien existen varios comburentes, el que tenemos más a disposición en todo el planeta y más presente en la atmósfera es el oxígeno.
- La energía de activación es el aporte energético que desencadena y permite alcanzar la temperatura de inflamación correspondiente a la temperatura mínima a la cual el combustible puede arder.

La combustión puede clasificarse en completa o incompleta, dependiendo del grado de eficiencia en la oxidación total del combustible. Entre los factores que determinan la eficiencia de combustión se encuentra la disponibilidad de oxígeno, la pureza o calidad del combustible, el grado de humedad de éste, y las temperaturas de combustión, entre otros.

La combustión completa ocurre cuando el combustible se quema y transforma íntegramente, en presencia suficiente de oxígeno y en condiciones óptimas, generando como productos: energía, dióxido de carbono y agua.

La combustión incompleta ocurre cuando el combustible no se quema totalmente por falta de oxígeno y por condiciones inadecuadas produciendo otros productos secundarios tales como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, dióxido de carbono, energía, agua, cenizas finas (hollín), e hidrocarburos no quemados, entre otros.

Al desarrollar tantas actividades a nivel de industria, construcción, transporte y hogares, más y más combustiones se generan, emitiendo mayores cantidades de estos gases y compuestos químicos, los cuales van alterando la composición de la atmósfera llegando a desestabilizarla, contaminarla y generar problemas ambientales y a la salud de las personas.

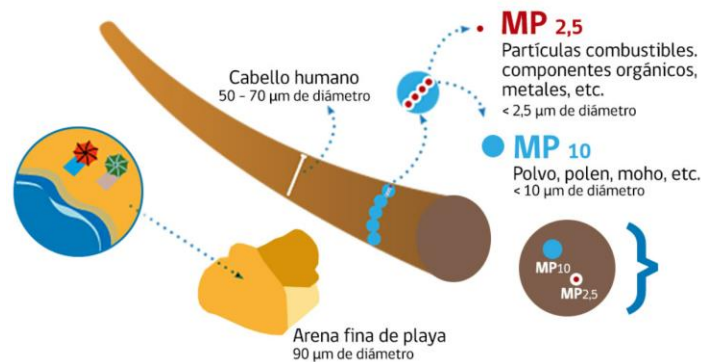
### 3.7 PRINCIPALES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA: ORÍGENES E IMPACTOS EN LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE

#### 3.7.1 Material Particulado (MP)

Estas partículas se encuentran principalmente en zonas urbanas y provienen de centrales térmicas, procesos industriales, tráfico de vehículos, combustión residencial de leña para calefacción y carbón e incineradores industriales.

El material particulado (MP) se clasifica según su diámetro, característica de la cual depende la intensidad de sus impactos. En Chile se utilizan dos métricas para clasificarlo: partículas de diámetros menores a 10 micrones conocidas como MP10 y de diámetros menores a 2,5 micrones conocidas como MP2,5. Este último es el contaminante más dañino para la salud y que genera mayores niveles de mortalidad prematura en la población.

Las principales fuentes de emisiones de MP2,5 en Chile, especialmente en las ciudades del sur de Chile, se deben al uso extensivo de leña para la calefacción de los hogares. El problema se agrava cuando los contenidos de humedad en la leña son altos y cuando las estufas son de baja eficiencia o tienen un mal funcionamiento.



Fuente: [www.ecured.cu/Material\\_particulado](http://www.ecured.cu/Material_particulado)

Figura 1.5. Comparación del MP con un pelo humano

#### Daño en la salud humana y al medio ambiente

Por su tamaño, estas partículas son capaces de ingresar al sistema respiratorio, provocando potenciales daños a sus órganos principales. Mientras menor sea su diámetro, mayor será el potencial de daño a la salud humana. Las partículas de MP2,5 penetran hasta los alvéolos pulmonares e ingresan directamente al torrente sanguíneo, aumentando los riesgos de mortalidad prematura.

El general, el MP puede también dañar a las plantas, inhibir el crecimiento de la vegetación y corroer materiales.

### **3.7.2 Monóxido de carbono (CO)**

Este gas es producto de la combustión incompleta de los combustibles al existir una cantidad insuficiente de oxígeno, dando como resultado CO en vez de CO<sub>2</sub>. Los vehículos a motor y los procesos industriales son responsables de aproximadamente el 80% de estas emisiones a la atmósfera. Sin embargo, también se produce al interior del hogar por la combustión residencial de leña para calefacción, cocinas, humo de cigarrillo y calefones.

#### **Daño en la salud humana y el medio ambiente**

Tiene efectos perjudiciales, ya que altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y, finalmente, la muerte. Principalmente el daño que produce es que el CO sustituye al oxígeno en la sangre formando la carboxihemoglobina (COHb), lo que produce un menor transporte de oxígeno en la sangre, una disminución de las funciones neuroconductuales, menor peso en niños recién nacidos y retardo en el desarrollo postnatal.

Al parecer, el monóxido de carbono no tiene efectos perjudiciales sobre la superficie de los materiales. Se han hecho experimentos que han demostrado que el CO no produce efectos dañinos en plantas a concentraciones por debajo de 100 ppm, teniendo en cuenta que rara vez las concentraciones ambientales de este contaminante pueden alcanzar este nivel, ni siquiera en cortos períodos.

### **3.7.3 Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Estos gases se producen durante el quemado de maderas y combustibles fósiles, como gasolina, carbón y gas natural. Entre los óxidos del gas nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se incluyen:

- Óxido nítrico (NO).
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).
- Trióxido de nitrógeno (NO<sub>3</sub>).
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).
- Pentóxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

El sector transporte constituye la fuente principal de emisión de NO<sub>x</sub>. El mayor desplazamiento en vehículos particulares por parte de la población en las grandes ciudades y el crecimiento sostenido del parque automotriz son una de las causas más importantes del aumento de las emisiones de este contaminante.

Cabe tener presente que los vehículos con motor a diesel, emiten una mayor cantidad de contaminantes, que aquéllos a gasolina, por lo que también es relevante considerar la composición del parque automotriz.

### **Daño en la salud humana y el medio ambiente**

Los NOx son responsables de importantes efectos sobre la salud y el medio ambiente, como problemas respiratorios o daño pulmonar, enfermedades en pulmones y bronquios, mayor susceptibilidad a las infecciones, daño celular, irritación ocular y pérdida de las mucosas.

El NO<sub>2</sub> puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico que puede ser causa de corrosión de las superficies metálicas y detener el crecimiento de plantas.

#### **3.7.4 Óxidos de azufre (SOx)**

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) son los óxidos dominantes del azufre presentes en la atmósfera. Son producto de la combustión de combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo y carbón. Los óxidos de azufre pueden acelerar la corrosión de los materiales al formar primero ácido sulfúrico en la atmósfera o sobre la superficie de los metales

En Chile las emisiones de SOx producto de la generación energética aumentaron a mediados de la década de 2000, cuando el carbón comenzó a reemplazar el gas natural. No obstante, disminuyeron en la segunda a mediados de esta década debido a la mayor rigurosidad en los controles de las emisiones exigidos por los permisos medioambientales para las nuevas centrales eléctricas.

### **Daño en la salud humana y medio ambiente**

Estos gases pueden alterar el funcionamiento de los bronquios, producir daño pulmonar y a las vías respiratorias, irritación ocular y paros cardíacos en personas.

Concentraciones altas de SO<sub>2</sub> puede conducir a lesiones crónicas en plantas, mientras que producen daño al medio ambiente al inhibir el crecimiento de vegetación.

#### **3.7.5 Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)**

Las emisiones de estos compuestos proceden de distintas fuentes, como el transporte, industrias de disolventes, minería, vertederos, entre otros, además de fuentes biogénicas como la vegetación. Muchos de estos compuestos interactúan con otros componentes para producir niebla y contaminación por aerosoles en presencia de radiación solar.

### **Daño en la salud humana**

Estos compuestos pueden producir irritación de ojos, garganta y pulmones, así como inhibición del crecimiento de las plantas. También se asocia a una mayor probabilidad de desarrollar leucemia y otros tipos de cáncer.

#### **3.7.6 Plomo (Pb)**

Este contaminante proviene de la combustión de gasolinas con plomo, de la minería y fundiciones y de la incineración de residuos. El plomo puede depositarse en el agua y alimentos que consumimos, por lo que puede ser absorbido por nuestro cuerpo.

### **Daño en la salud humana**

Elevados niveles de plomo en la sangre derivan en problemas hematológicos, daño al sistema nervioso central, disturbios gastrointestinales, problemas a los riñones y es perjudicial en el desarrollo mental de los niños.

#### **3.7.7 Ozono troposférico (O3)**

Se trata del principal componente del esmog fotoquímico y uno de los más fuertes agentes oxidantes. El ozono se forma en la tropósfera y de la acción de ésta en las moléculas de ozono en la estratósfera, como producto de la reacción entre los NOx, los COV y los hidrocarburos (HC) en presencia de radiación solar.

Las fuentes de hidrocarburos y NOx en las zonas urbanas son primordialmente los vehículos.

### **Daño en la salud humana**

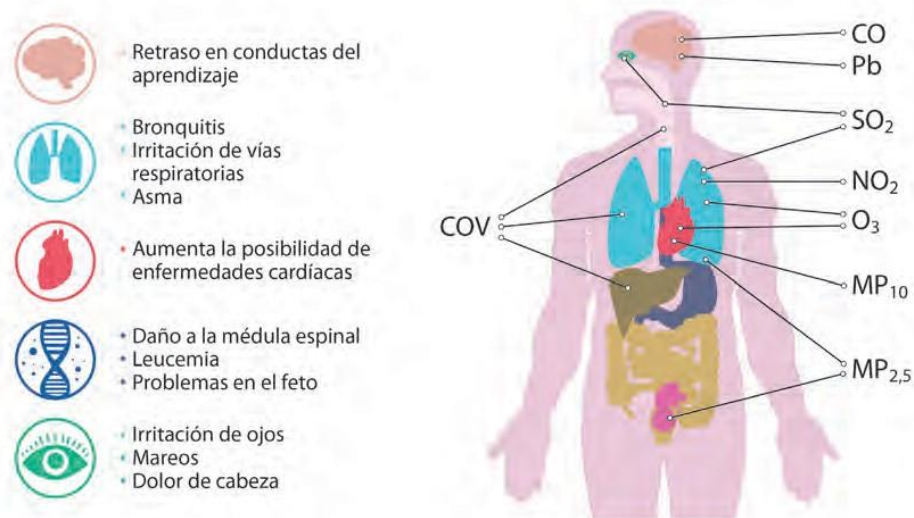
Su toxicidad ocurre en un continuo, en que a mayores concentraciones se generan efectos más nocivos.

Provocan tos y dolores de cabeza, irritación de ojos, nariz y garganta, incremento de la mucosidad, estertores, cierre de las vías respiratorias, dolores de tórax, languidez, malestar y náuseas, con aumento en la incidencia de ataques asmáticos. También puede agravar enfermedades crónicas del corazón.

Tabla 1.3 Principales Contaminantes generados por distintas fuentes de actividad

| Fuentes de Actividad         | Contaminantes        |                     |                     |                  |                                |       |                    |
|------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------|
|                              | Material Particulado | Monóxido de Carbono | Óxidos de Nitrógeno | Óxidos de Azufre | Compuestos Orgánicos Volátiles | Plomo | Ozono Troposférico |
| Centrales térmicas           | ✓                    | ✓                   | ✓                   | ✓                | ✓                              |       |                    |
| Tráfico                      | ✓                    | ✓                   | ✓                   | ✓                | ✓                              | ✓     | ✓                  |
| Calefacción doméstica a leña | ✓                    | ✓                   | ✓                   | ✓                | ✓                              |       |                    |
| Refinado de petróleo         |                      |                     | ✓                   | ✓                | ✓                              |       |                    |
| Minería                      | ✓                    |                     |                     |                  |                                | ✓     |                    |
| Manufacturas metálicas       | ✓                    |                     |                     |                  |                                | ✓     |                    |
| Incineración de residuos     | ✓                    | ✓                   | ✓                   | ✓                | ✓                              | ✓     |                    |
| Agricultura                  | ✓                    |                     |                     |                  |                                |       |                    |

Fuente: Guía de calidad del aire y educación ambiental



Fuente: Guía Pedagógica. Descontaminemos el Aire de Nuestra Ciudad.

Figura 1.6 Efectos en la salud según contaminantes atmosféricos

### **3.8 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE LOS ECOSISTEMAS**

Existen diversos impactos en la calidad de la atmósfera asociados a la emisión de contaminantes en la superficie terrestre que repercuten y tienen efecto en el funcionamiento de los ecosistemas. Algunos son de alcance más global y otros más locales. A continuación, se detallan algunos de ellos:

#### **3.8.1 Lluvia ácida**

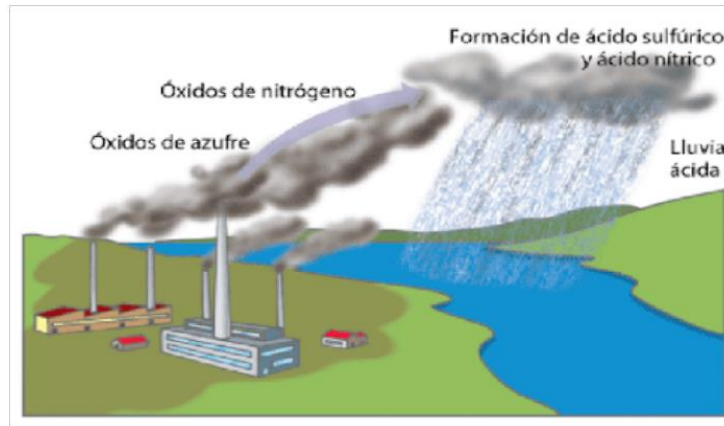
Este término se refiere a cualquier forma de precipitación, sea húmeda (lluvia, nieve o niebla) o seca (polvo o humo), que tiene niveles más altos de acidez debido a la alta cantidad de componentes ácidos que contiene. La lluvia ácida tiene un pH inferior a 5.6, pudiendo llegar hasta niveles tan bajos como 2.5 o 1.5.

La lluvia ácida se produce porque las combustiones de carbón y derivados del petróleo generan dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Estos componentes reaccionan con la humedad de la atmósfera y se convierten en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), respectivamente. Estos compuestos químicos dan el carácter ácido a la precipitación, la que cae sobre el suelo y las plantas produciendo efectos nocivos. De esta manera, los ecosistemas se ven fuertemente afectados. La lluvia ácida, al entrar en contacto con los suelos, disuelve elementos minerales básicos como potasio, magnesio y calcio, acidifica los terrenos y permite la infiltración de metales tóxicos que pueden llegar a aguas subterráneas.

También causa daño directo en las hojas de los vegetales, provocando pequeñas lesiones que alteran la acción fotosintética. Con ello, las plantas pierden la capacidad de alimentarse y de seguir viviendo.

Por otro lado, los lagos y ríos se acidifican provocando la disminución de especies tanto vegetales como animales, ya que muchas de ellas son sensibles a las variaciones de pH.

La lluvia ácida también acelera la corrosión en edificios, estatuas y monumentos. Los compuestos químicos que contiene pueden provocar que la pintura se desprenda o estropear monumentos y edificaciones construidas con mármol o caliza al disolver sus componentes.



Fuente: Lluvia Acida - investigación del aire (google.com)

Figura 1.7 Formación de lluvia acida.

### 3.8.2 Destrucción de la Capa de Ozono

El ozono troposférico (O<sub>3</sub>) es un contaminante secundario de origen fotoquímico que se encuentra cercano a la corteza terrestre (en la tropósfera, de ahí su nombre). Es un gas altamente irritante, que puede causar problemas bronquiales serios, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, este contaminante no debe ser confundido con el ozono estratosférico que forma la Capa de Ozono, y que se genera de forma continua en las capas altas de la estratósfera. Este nivel de ozono concentrado cubre y protege nuestro planeta actuando como un potente filtro solar que evita el paso de una porción de la radiación ultravioleta proveniente del Sol llamada radiación ultravioleta UV-B que puede resultar dañina.

Si bien este gas se produce naturalmente, existen agentes de destrucción del ozono que han sido creados por el hombre. Uno de estos compuestos son los clorofluorocarbonos (CFC) que se utilizan en aerosoles y en tecnologías de refrigeración, los cuales aceleran el proceso de descomposición del ozono. Los rayos UV rompen los CFC en la estratósfera liberando átomos de cloro, los cuales destruyen a las moléculas de ozono; por lo que dificultan su regeneración disminuyendo su presencia en la estratosfera.

Sin este efecto filtrante de la capa de ozono, aumenta la radiación ultravioleta que llega a nivel del suelo. Si la radiación UV no es absorbida en las cantidades adecuadas, puede causar impactos negativos en variadas especies. En las personas, la exposición a UV-B aumenta los riesgos de cáncer de piel, de cataratas, avejenta la piel y debilita el sistema inmunológico. También puede disminuir el crecimiento de plantas y afectar a organismos unicelulares y sistemas acuáticos.

### **3.8.3 Smog fotoquímico**

Éste se origina por la combinación del aire con contaminantes durante un período de altas presiones. Este tipo de esmog se desarrolla en prácticamente todas las grandes ciudades del mundo, especialmente en aquéllas con mucho tráfico, soleadas y con poco movimiento de las masas de aire.

El esmog fotoquímico se forma a partir de las reacciones entre la luz solar y los óxidos de nitrógeno (NOx) y/o compuestos orgánicos volátiles (COVs). Estas reacciones provocan la formación de ozono (O<sub>3</sub>) o dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), y otros contaminantes secundarios como formaldehído y cetonas.

Este tipo de esmog se intensifica cuando aparte del tráfico intenso y la producción industrial que emiten NOx y COVs a la atmósfera, se presenta un período de inversión térmica que impide la circulación del aire.

La producción de esmog fotoquímico oscurece la atmósfera dejando un aire teñido de color marrón rojizo, cargado de componentes dañinos para la salud de las personas y del medio ambiente. Aparte de ensuciar el aire y entregarle un aspecto de niebla, causa daños sobre zonas forestales y agrícolas cercanas a las ciudades.

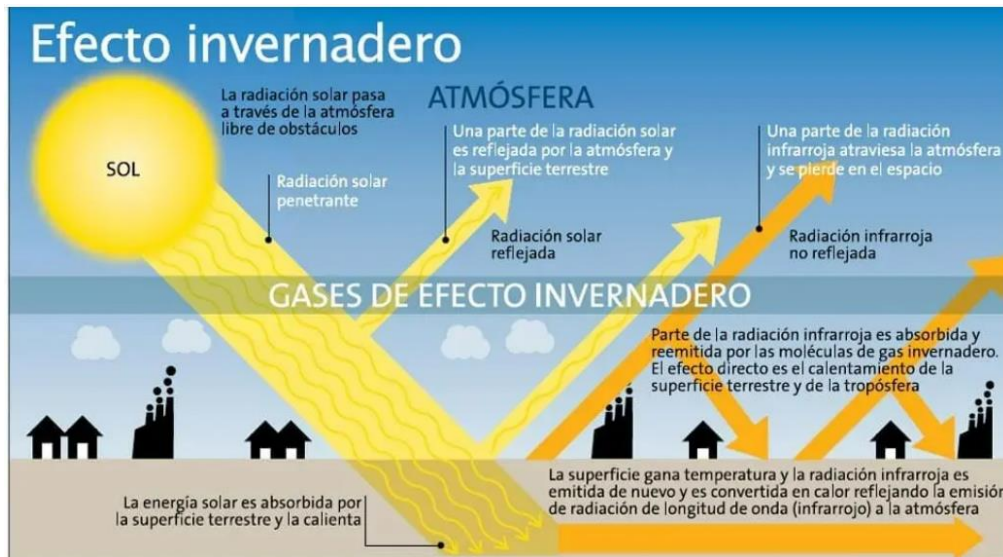
### **3.8.4 Efecto invernadero**

La Tierra cuando recibe la radiación solar no absorbe toda la energía que proviene del Sol, sino que refleja parte de ella de vuelta a la atmósfera, donde se encuentra con gases que retienen de manera natural la energía proveniente del sol y mantienen el planeta más caliente de lo que estaría en su ausencia. Como resultado de este efecto, la Tierra se mantiene lo suficientemente templada como para permitir la vida en su superficie y en sus océanos.

La radiación térmica emitida desde la superficie del planeta es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera; los que son irradiados en todas las direcciones, incluyendo la devolución hacia la superficie y la atmósfera inferior. Se estima que si no se produjera este fenómeno la temperatura media de la tierra sería más de 30° Celsius inferiores a los promedios actuales.

Aparte de este efecto invernadero natural, las sociedades humanas están intensificando el fenómeno, principalmente a través de la quema de combustibles fósiles y la tala de bosques. Al adicionar a la atmósfera mayores concentraciones de gases con efecto invernadero se obtiene como resultado un progresivo calentamiento de la temperatura media en la superficie del planeta.

Mientras la concentración natural de los gases de efecto invernadero en la atmósfera se ha establecido a lo largo de millones de años, las emisiones antropogénicas están alterando este equilibrio en apenas unas décadas.



Fuente: [www.meteorologiaenred.com](http://www.meteorologiaenred.com)

Figura 1.8 Efecto invernadero

### 3.9 CONDICIONANTES GEOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS

La contaminación atmosférica es originada por los contaminantes que son emitidos por las distintas fuentes o actividades que se han descrito anteriormente. Sin embargo, la concentración de contaminantes está a su vez condicionada por factores naturales como la geografía y el clima.

Estos tienen una significativa incidencia en la calidad del aire en determinadas localidades, para distintas estaciones del año, puesto que afectan las condiciones de dispersión de los contaminantes emitidos desde la superficie. Analicemos en detalle el caso de nuestro país.

Chile presenta cuatro unidades de relieve o estructuras morfológicas principales, que juegan un rol significativo en la determinación de la calidad del aire en los principales asentamientos humanos: las planicies costeras, la cordillera de la costa, la depresión intermedia y los valles interiores, y la cordillera andina.

La población del país se concentra en las zonas costeras y en los valles interiores, principalmente en las áreas urbanas. Las diferencias geográficas entre estas dos zonas inciden, como veremos, de manera significativa en la capacidad de concentración de contaminantes emitidos por las ciudades, en uno u otro caso.

Estas estructuras morfológicas son determinantes en la calidad del aire. Las zonas de emplazamiento de una ciudad en una superficie rodeada por montañas, como en el caso de la depresión intermedia, situada entre las cordilleras costera y andina, influye en la dispersión de los contaminantes, ya que estos están limitados al área cercada o cerrada por el relieve. Dependiendo del tamaño de la geoforma, los contaminantes tendrán mayor o menor espacio para dispersarse y disminuir su concentración. En las zonas costeras, en cambio, se presentan mejores condiciones de ventilación para la dispersión de los contaminantes emitidos en la superficie.

Analicemos cuatro condicionantes geográficas y climáticas que explican diferencias significativas en la concentración de contaminantes en las ciudades, para las distintas zonas del país.

### **3.9.1 Anticiclón del Pacífico**

Las condiciones de estabilidad climática y el déficit de precipitaciones en extensos sectores del centro del país y fundamentalmente en el extremo norte, se explican por la presencia del centro de altas presiones subtropicales del Pacífico Sur, ubicado entre los 30º y 40º de latitud sur (aproximadamente entre La Serena y Valdivia).

El Anticiclón del Pacífico origina un clima cálido en verano y frío en invierno. Durante las épocas invernales, los sistemas frontales del Pacífico Sur generan precipitaciones en las zonas centro y sur. En el norte, en cambio, en las partes bajas y de desierto interior prácticamente no existen precipitaciones.

### **3.9.2 Vientos de circulación atmosférica planetaria**

Otro factor condicionante es la acción del viento. La existencia y sus movimientos obedecen a la dinámica de la circulación atmosférica del planeta.

Dentro de ese esquema, las altas presiones subtropicales producen los vientos provenientes del oeste, del suroeste y del noroeste. Aquellos que se dirigen al sur son los Bravos del Oeste (Westerlies) y los que van al norte, los Alisios. La importancia de estos vientos radica en el transporte de masas de aire de diferentes características de temperatura y humedad, que producen precipitaciones de carácter frontal.

En el norte y centro del país, durante las estaciones de primavera y verano, dominan los vientos sur y suroeste, en cambio en los periodos de otoño e invierno dominan los vientos del norte y noroeste.

Desde Chiloé hasta las Islas Diego Ramírez imperan, en toda estación, los vientos constantes del oeste, que azotan con gran intensidad la región patagónica.

El Frente Polar tiene gran influencia en el extremo sur del territorio, por cuanto corresponde a un sector de grandes trastornos y severos conflictos atmosféricos con abundantes precipitaciones, debido al encuentro de masas de aire cálido (Bravos del Oeste) y de aire frío de origen polar.

### **3.9.3 Vientos de circulación local**

Además de los vientos de circulación atmosférica planetaria ya mencionados, existen vientos locales generados por la radiación solar recibida, los cuerpos de agua, el relieve y el calentamiento desigual de estos entre el día y la noche. De acuerdo a estas interacciones se conocen los vientos de valle-montaña y los vientos tierra-mar.

Los vientos de valle-montaña se generan porque dependiendo de cómo avancen los rayos solares durante el transcurso del día, estos inciden de forma desigual en las laderas de las montañas y en los valles, generando diferencias de temperaturas. En el caso de las laderas de solana (aquellas de exposición norte, que reciben una mayor radiación solar) se calientan más rápidamente que las de umbría (exposición sur) y los fondos de valles insertos entre cordones montañosos, por lo que durante el día el viento sube desde el valle hacia las partes más altas de la montaña y durante la noche el viento baja en dirección inversa, ya que las laderas se enfrían más rápido que el valle.

Este viento que es de componente oriental (de este a oeste proveniente de la Cordillera de los Andes), se le conoce como el Puelche (en las zonas de Biobío, Malleco y Cautín) y el Raco (en el Valle del Maipo).

Los vientos tierra-mar o terral, se producen por las diferencias de temperatura y presión entre el continente y el océano. Durante el día se producen brisas de mar que se dirigen desde el océano hacia el continente, y durante la noche las brisas van desde el continente hacia el océano. Este efecto es muy notorio en la época de verano en la zona costera.

### **3.9.4 Inversión térmica**

Como hemos visto, en condiciones normales de la tropósfera, las masas de aire cálido asociados a la superficie terrestre se enfrían al ascender. La inversión térmica se presenta cuando se interpone una masa de aire más caliente que obstaculiza este tránsito, provocando una especie de barrera que no permite que el aire frío que se encuentra bajo ésta, pueda subir, dificultando la dispersión de los contaminantes emitidos desde la superficie.

Hechas estas consideraciones geográficas y climáticas, podemos explicar por qué las ciudades chilenas ubicadas en la depresión intermedia son más propensas a registrar problemas de contaminación atmosférica, especialmente en los meses de invierno.



Fuente: <https://ambientebogota.gov.co/>

Figura 1.9 Inversión Térmica

Por una parte, la capa de inversión térmica se presenta a una menor altura, lo que reduce la dilución de contaminantes en dirección vertical. Por otra, los vientos alisios o planetarios se debilitan, generándose períodos de calma que pueden durar varios días. Y a esto se suma el encajonamiento propio de las zonas urbanas respecto de los cordones montañosos circundantes, lo que reduce las posibilidades de dispersión lateral de los contaminantes. Se generan así las condiciones propicias para su concentración en los períodos más fríos.

### 3.10 LAS CIUDADES MÁS CONTAMINADAS

#### 3.10.1 En el Mundo

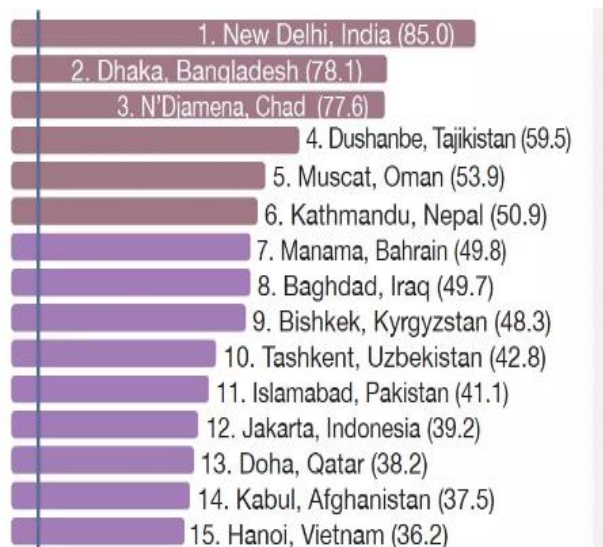
El Informe elaborado por IQ air, sobre la calidad del aire en el mundo de 2021 revela que solo el 3% de las ciudades y ningún país cumplió con la última directriz anual de calidad del aire de PM2.5 de la Organización Mundial de la Salud (OMS). El informe analiza las mediciones de contaminación del aire PM2.5 de las estaciones de monitoreo del aire en 6 mil 475 ciudades en 117 países, regiones y territorios.

El Informe sobre la calidad del aire en el mundo 2021 de IQ Air es el primer informe importante sobre la calidad del aire en el mundo basado en la guía anual actualizada de la calidad del aire de la OMS para PM2.5. La nueva directriz se publicó en septiembre de 2021 y redujo el valor de referencia anual existente de PM2.5 de 10 µg/m<sup>3</sup> a 5 µg/m<sup>3</sup>.

A nivel mundial, los cinco países más contaminados en 2021 fueron Bangladesh, Chad, Pakistán, Tayikistán y la India; en tanto que por capitales Nueva Delhi (India) es la más contaminada por cuarto año consecutivo seguida de Dhaka (Bangladesh), N'Djamena (Chad), Dushanbe (Tayikistán) y Muscat (Omán). Los mayores niveles de contaminación por material particulado se registran en ciudades asiáticas y africanas, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Figura 1.10. Las 30 ciudades más contaminadas del mundo por MP2,5

(Concentración media anual de PM2,5 [µg/m<sup>3</sup>])





Fuente: Informe Mundial sobre la Calidad del Aire 2021 IQ Air.

### 3.10.2 En Chile

De los países que conforman la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Chile es el tercer miembro con mayor concentración promedio anual de materia particulada (MP) 2,5.

Chile alberga 11 de las 15 ciudades más contaminadas de América Latina y el Caribe, donde nueve de cada 10 personas viven en ciudades. En 2021, solo una ciudad chilena cumplió con la directriz de calidad del aire de la OMS de 2021, dejando al 99% de la población regional en áreas que exceden la directriz por un factor de cinco. Se están haciendo esfuerzos para reducir las emisiones en la región, pero millones de personas todavía dependen de combustibles contaminantes para cocinar y calentarse. Cada año, la contaminación del aire le cuesta al sector de la salud chileno aproximadamente \$670 millones y provoca 4.000 muertes prematuras.

El "Ranking Aires Nuevos 2021" de Contaminación de material particulado fino (MP2.5) en Chile, elaborado por la Red Aires Nuevos para la Primera Infancia de la Fundación Horizonte Ciudadano y el Centro de Acción Climática PUCV. Según que la comuna de Padre las Casas (37,74 [µg/m<sup>3</sup>] media anual), de la región de la Araucanía, lidera la lista duplicando la norma impuesta en Chile de un máximo de 20ug/m<sup>3</sup>.

Le siguen Coyhaique (36,9 [µg/m<sup>3</sup>] media anual), Osorno (35,78 [µg/m<sup>3</sup>] media anual), Nacimiento (35,16 [µg/m<sup>3</sup>] media anual), Coronel (35 [µg/m<sup>3</sup>] media anual) y Puerto Varas se posiciona como la sexta comuna con mayor contaminación del país (31,8 [µg/m<sup>3</sup>] media anual).

Las características geográficas y topográficas de Chile son factores importantes que contribuyen a la mala calidad del aire del país. Muchas ciudades chilenas se encuentran en valles que pueden atrapar la contaminación del aire, particularmente durante los meses de invierno. Este problema se ve agravado por la práctica común de usar estufas de leña. La combustión de leña es un contribuyente muy significativo a

las concentraciones de PM2.5. Esta tendencia es bastante evidente en los meses de clima frío en Chile (junio a agosto), cuando los niveles de PM2.5 aumentan bruscamente, por eso Chile está trabajando en la adopción de medidas para abordar el problema de la contaminación del aire, en donde la leña representa el 94% de las emisiones de partículas finas (PM2,5) en algunas ciudades chilenas, sin embargo reemplazar la leña con fuentes de energía alternativas limpias ha sido un desafío y en 2014 inició un programa para reemplazar 200,000 calentadores de leña con dispositivos de calefacción más eficientes energéticamente, como nuevos calentadores a base de gas, parafina o pellets de madera.

Tabla 1.4. Las 10 comunas más contaminadas de Chile por MP2,5

| COMUNA          | REGION        | MP 2,5 (ug/m3) * |
|-----------------|---------------|------------------|
| Padre las Casas | Araucanía     | 37,74            |
| Coyhaique       | Aysén         | 36,90            |
| Osorno          | Los Lagos     | 35,78            |
| Nacimiento      | Biobío        | 35,16            |
| Coronel         | Biobío        | 35,00            |
| Puerto Varas    | Los Lagos     | 31,80            |
| Peñalolén       | Metropolitana | 31,30            |
| Independencia   | Metropolitana | 30,60            |
| El Bosque       | Metropolitana | 30,10            |
| Linares         | Maule         | 29,74            |

\*En base al promedio anual de MP2,5 en monitores de la red SINCA y de la red Aires Nuevos.

Fuente: Centro de Acción Climática PUCV.

### **3.11 POLÍTICAS PÚBLICAS**

En la actualidad se cuenta con diversos instrumentos de gestión de la política pública ambiental para enfrentar la problemática de la contaminación atmosférica a lo largo del país. Veamos cuáles son.

#### **3.11.1 El Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire y la Red de Monitoreo**

El Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente es un portal que contiene información de calidad del aire de todo el país, a través de la cual se evalúa su estado según lo establecido en las normas primarias de calidad ambiental, analizando los registros de las estaciones de monitoreo con representatividad poblacional (EMPR).

Para que una estación sea catalogada como EMPR debe cumplir con todas las condiciones establecidas en el Decreto 59/1998, Decreto 112/2002, Decreto 113/2002, Decreto 114/2002 y Decreto 115/2002, todos del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Este sistema centralizado entrega información sobre las mediciones de calidad del aire realizadas en tiempo real y presenta un seguimiento histórico de los datos recolectados a través de 197 estaciones de monitoreo distribuidas a lo largo del país, de propiedad pública y privada. Estas han sido instaladas siguiendo las exigencias establecidas en resoluciones de calificación ambiental, como mecanismo de seguimiento de los impactos de proyectos o planes de descontaminación.

En las ciudades que presentan mayores niveles de contaminación, se han implementado redes de monitoreo para contar con datos rápidos y exactos respecto al nivel de partículas y gases presentes en sectores y horas específicas.

Las primeras mediciones de calidad de aire en Chile datan del año 1964. Posteriormente, en el año 1976 se instala una “Red de Vigilancia de Calidad del Aire” y, en 1988, la red automática MACAM, para la Región Metropolitana. A partir de estas fechas, el número de estaciones de monitoreo fue aumentado progresivamente.

La Red MACAM III es la Red Oficial de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire y variables Meteorológicas con que cuenta la Región Metropolitana, creada con el objetivo de mejorar la calidad de las mediciones y disponer de manera eficaz la información relativa al comportamiento de los contaminantes críticos. Esta red cuenta actualmente con estaciones emplazadas en las comunas de Independencia, La Florida, Las Condes, Santiago, Pudahuel, Cerrillos, El Bosque, Cerro Navia, Puente Alto, Talagante y Quilicura. Registra en tiempo real las concentraciones de MP2,5, MP10, SO2, NO2, CO y O3, a la vez que evalúa también variables meteorológicas, tales como la velocidad y dirección del viento, temperatura y radiación solar.

Desde comienzos del año 2012, el Ministerio del Medio Ambiente se ha hecho cargo de la administración de todas las redes públicas que existían en el país, las que antes eran administradas por el Ministerio de Salud (Red SIVICA, que abarcaba desde la Región de Coquimbo a la de Aysén, sin contar la Región Metropolitana) y por la Seremi de Salud de la Región Metropolitana (la Red MACAM III).

### **3.11.2 Normas de emisión de contaminantes**

Establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante, siendo medida en el efluente (o a la salida) de la fuente emisora, en forma de concentración o de emisión másica.

Por ejemplo, medir la contaminación a la salida de una chimenea industrial o de gases en el tubo de escape de un automóvil.

### **3.11.3 Normas de Calidad Ambiental**

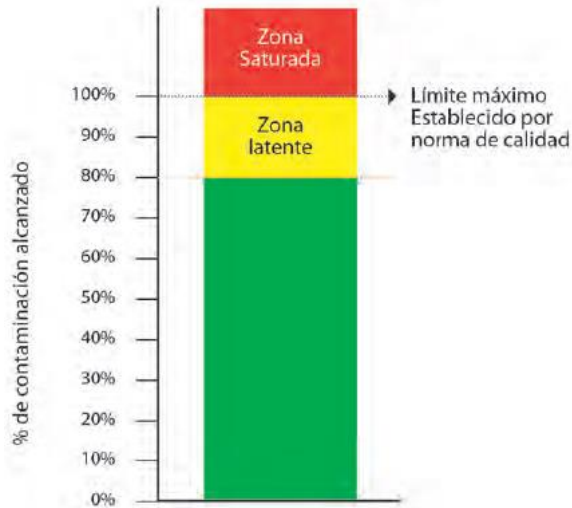
Establecen límites para elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos en el ambiente. Por ejemplo, una cierta cantidad o concentración de un compuesto en la atmósfera como lo puede ser el MP2,5.

Las normas de calidad se clasifican en primarias o secundarias. Las primeras se enfocan en los contaminantes que constituyen un riesgo para la vida o la salud de la población. Las normas secundarias, en cambio, abordan los contaminantes que afectan la calidad del medio ambiente.

A partir de las normas de calidad podemos determinar la clasificación de una zona de acuerdo al nivel de contaminación que ésta presenta.

Una Zona Latente es aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental.

En cambio, una Zona Saturada es aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.



Fuente: Guía de calidad del aire y educación ambiental

Figura 1.11 Esquema para entender los conceptos de Zonas Latentes y Zonas Saturadas

#### 3.11.4 Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA)

Los Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica (PPDA), son instrumentos de gestión ambiental que, a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tiene por finalidad reducir los niveles de contaminación del aire, con el objeto de resguardar la salud de la población.

Los Planes de Prevención Atmosférica (PPA), tienen por finalidad evitar que las normas ambientales de calidad sean sobrepasadas en una zona latente.

Los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), tienen por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas ambientales de calidad de una zona saturada.

Tabla 1.5. Planes de Descontaminación Atmosférica

| Planes de descontaminación      | Fecha de entrada en vigencia | Contaminantes                                  |  |
|---------------------------------|------------------------------|--|--|
|                                 |                              | Estado Latencia                                | Estado Saturación  |
| Calama                          | 2021                         |  | MP <sub>10</sub> (anual)                                   |
| Concepción Metropolitano        | 2018                         | MP <sub>10</sub>                               | MP <sub>2,5</sub> y MP <sub>10</sub> (diarios)             |
| Concón, Quintero y              | 2018                         | MP <sub>2,5</sub> y MP <sub>10</sub> (diarios) | MP <sub>2,5</sub> (anual)                                  |
| Los Ángeles                     | 2017                         |  | MP <sub>2,5</sub> y MP <sub>10</sub> (diarios)             |
| Valdivia                        | 2017                         |  | MP <sub>2,5</sub> y MP <sub>10</sub> (diarios y anual)     |
| Curicó                          | 2017                         |  | MP <sub>2,5</sub> (diarios)                                |
| Huasco                          | 2017                         | MP <sub>10</sub> (anual)                       |  |
| Chillán y Chillán Viejo         | 2016                         | MP <sub>10</sub> (anual)                       | MP <sub>2,5</sub> y MP <sub>10</sub> (diarios)             |
| Talca y Maule                   | 2016                         |  | MP <sub>10</sub> (diario y anual)                          |
| Osorno                          | 2016                         |  | MP <sub>2,5</sub> y MP <sub>10</sub> (diarios y anuales)   |
| Coyhaique                       | 2016                         |  | MP <sub>10</sub> (diario y anual)                          |
| Temuco y Padre Las Casas        | 2015                         |  | MP <sub>2,5</sub> (diaria)                                 |
| Andacollo                       | 2014                         |  | MP <sub>10</sub> (diario y anual)                          |
| Valle central VI región         | 2013                         |  | MP <sub>10</sub> (diario y anual)                          |
| Tocopilla                       | 2010                         |  | MP <sub>10</sub> (anual)                                   |
| Región Metropolitana            | 2010                         | NO <sub>2</sub>                                | MP <sub>10</sub> (diario y anual) CO, O <sub>3</sub>       |
| Chuquicamata                    | 2001                         | SO <sub>2</sub> (anual)                        | MP <sub>10</sub> (anual) SO <sub>2</sub> (diaria)          |
| María Elena y Pedro de Valdivia | 1999                         |  | MP <sub>10</sub> (diario y anual)                          |
| Potreros                        | 1999                         |  | MP <sub>10</sub> (diario) SO <sub>2</sub> (diario y anual) |
| Fundación Caletones             | 1998                         |  | MP <sub>10</sub> (diario) SO <sub>2</sub> (anual)          |
| Paipote                         | 1995                         |  | SO <sub>2</sub> (anual)                                    |
| Ventanas                        | 1993                         |  | SO <sub>2</sub> (anual)                                    |

Fuente: Elaboración Propia

Gracias a la Estrategia de Descontaminación Atmosférica en los últimos años (2014 – 2018), se han elaborado cinco de estos planes para ciudades de la zona sur, que soportan las mayores concentraciones de material particulado en el país y han entrado en vigencia ocho planes, correspondientes a:

- Región Metropolitana: MP2,5 diario: estado saturado
- Quintero, Puchuncaví (ex Ventanas): MP2,5 anual: estado saturado y MP2,5 diario y MP10 anual: estados latentes)
- Huasco: MP10 anual: estado latente
- Los Ángeles: MP2,5 diario: estado saturado
- Valdivia: MP2,5 y MP10 diarios: estados saturados
- Gran Concepción: MP2,5 diario: estado saturado
- Curicó: MP2,5 y MP10 diarios: estados saturados
- Calama: MP10 anual: estado saturado

De esta manera, la estrategia permite que el 87% de la población del país esté protegida para combatir la contaminación por material particulado.

- **Elaboración de un Plan de Descontaminación**

El proceso para la elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférica es relativamente complejo. Se inicia con la declaración de una zona saturada o latente mediante la dictación de un decreto supremo que llevará la firma del Ministro del Medio Ambiente. Este contiene la determinación precisa del área geográfica que abarca, de acuerdo a lo establecido en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.

Para decretar la zona se requiere la existencia de un monitoreo de tres años para la norma anual y de un año para la norma diaria. El proceso posterior de formulación del Plan se rige de acuerdo a lo establecido por el decreto Decreto Supremo N° 39, del Ministerio del Medio Ambiente, de 2013.

Una vez que se inicia el anteproyecto existe un plazo de 12 meses para aprobarlo y someterlo a una consulta pública por 60 días. Luego, para desarrollar el proyecto definitivo e incorporar las observaciones levantadas en el proceso de consulta pública, existe un plazo de otros 120 días.

El proyecto definitivo debe ser aprobado posteriormente por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, para luego ser ingresado al trámite de toma de razón en la Contraloría General de la República.

El Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, es presidido por el Ministro del Medio Ambiente e integrado por los Ministros de Agricultura, de Hacienda, de Salud, de Economía, Fomento y Reconstrucción, de Energía, de Obras Públicas, de Vivienda y Urbanismo, de Transportes y Telecomunicaciones, de Minería y Desarrollo Social.

## Episodios críticos: Alertas, preemergencias y emergencias ambientales

Un episodio crítico de contaminación del aire se declara cuando se superan los valores que estén establecidos en la respectiva norma de calidad primaria del aire.

Estas normas definen los niveles de concentraciones que dan origen a episodios críticos (niveles 1, de alerta; 2 de preemergencia; y 3, de emergencia ambiental).

Para simplificar el concepto de episodio crítico, se utiliza el ICAP (Índice de Calidad del Aire por Partículas), que lleva a una escala estándar el valor promedio de las concentraciones de los MP<sub>2,5</sub> y MP<sub>10</sub>, de acuerdo a lo que establece la norma para cada contaminante.

Los episodios críticos se decretan mediante un modelo estadístico de pronóstico diario, cuando la calidad del aire y las condiciones atmosféricas de ventilación son desfavorables y pueden significar una exposición de las personas a altos índices de contaminación respecto de las normas de calidad del aire, señaladas en el siguiente cuadro

| Calidad del aire   | Episodio Crítico        | Índice Calidad del Aire por Partículas | Concentración MP <sub>10</sub> [µg/m³N 24 hrs] | Concentración MP <sub>2,5</sub> [µg/m³N 24 hrs] |
|--------------------|-------------------------|--|--|---|
| Bueno              |                         | 0 – 99                                 | 0 - 149  | 0 – 50  |
| Regular            |                         | 100 - 199                              | 150 - 194                                      | 51 – 79   |
| Malo               | Alerta Ambiental        | 200 - 299                              | 195 - 239                                      | 80 – 109  |
| Crítico, Peligroso | Preemergencia Ambiental | 300 – 499                              | 240 - 329                                      | 110 – 169                                       |
| Excede             | Emergencia Ambiental    | 500 o +                                | 330 o +  | 170 o +   |

Fuente: Guía de calidad del aire y educación ambiental

Tabla 1.6. Clasificación de calidad del aire según rango de concentración

Respecto del procedimiento establecido para la declaración de episodios críticos, la zona afectada debe contar con un PDA o PPDA, que permita implementar una Gestión de Episodios Críticos o GEC.

Con la entrada en vigencia de los nuevos planes de descontaminación, además de los ya vigentes, durante el año 2016 hubo Gestión de Episodios Críticos con aplicación de medidas de contingencia asociadas al MP<sub>10</sub> y al MP<sub>2,5</sub> en el Valle Central de la región de O'Higgins (MP<sub>10</sub>), Talca - Maule (MP<sub>10</sub>), Chillán y Chillán Viejo (MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>), Temuco y Padre Las Casas (MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>), Osorno (MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>), Coyhaique y su zona circundante (MP<sub>10</sub>) y en la Región Metropolitana (MP<sub>10</sub>).

## **IV GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA**

### **4.1 CONTAMINANTES**

Los proyectos o actividades y las modificaciones de los proyectos existentes, que se sometan o deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental deberán presentar la estimación de sus emisiones de contaminantes a la atmósfera al menos para MP10, MP2,5, NOx, SOx, NH3, CO y COVs.

### **4.2 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES GENERADORAS DE EMISIONES**

Presentar una tabla resumen indicando las distintas actividades emisoras que conlleva el proyecto en evaluación. A continuación, en la Tabla 1.1 se presentan las principales actividades o fuentes de emisión de un proyecto, pudiendo existir otras actividades o procesos que impliquen emisiones de los distintos contaminantes.

Tabla 2.1. Actividades generadoras de emisiones

| <b>Actividad</b>   | <b>Contaminantes</b>                      |
|--|---|
| <b>Demolición</b>  | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Perforación</b>                                       | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Escarpe</b>   | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Excavaciones</b>                                      | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Erosión de material en pila</b>                       | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Carguío y volteo de material</b>                      | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Compactación</b>                                      | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Nivelación</b>  | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Tránsito de vehículos por caminos no pavimentados</b> | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Tránsito de vehículos por vías pavimentadas</b>       | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Combustión de vehículos</b>                           | MP10 - MP2,5 - NOx - SOx - NH3 - CO - COV |
| <b>Combustión de maquinaria fuera de ruta</b>            | MP10 - MP2,5 - NOx - SOx - NH3 - CO - COV |
| <b>Combustión de grupos electrógenos</b>                 | MP10 - MP2,5 - NOx - SOx - CO - COV       |
| <b>Combustión de calderas</b>                            | MP10 - MP2,5 - NOx - SOx - CO - COV       |
| <b>Chancado (primario, secundario y terciario)</b>       | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Pulverizado</b>                                       | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Tamizado (grueso y fino)</b>                          | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Punto de transferencia entre correas</b>              | MP10 - MP2,5                              |
| <b>Otras</b>   | -   |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

En el eventual caso de tener que reportar actividades emisoras no incluidas en la presente Guía, los Titulares deben considerar un factor de emisión representativo de la actividad, apoyándose en las entidades que han desarrollado compilaciones de factores de emisión, como la EPA con el AP 42, el EMEP/EEA con el Inventory Guidebook, u otras.

Para todas las actividades o fuentes emisoras, los niveles de actividad deben ser justificados a través de los cálculos correspondientes, indicando las estimaciones y supuestos realizados en cada caso. Al respecto, se debe mantener consistencia en las unidades de cada parámetro utilizado. En el caso de existir conversión de unidades estas deben ser presentadas de manera explícita en el informe de estimación de emisiones.

### 4.3 ECUACIÓN GENERAL PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES

La ecuación general empleada para estimar las emisiones de cualquier actividad se presenta a continuación.

$$E = fe \cdot Na \cdot (1 - Ea) \quad \text{EC. 1}$$

Donde,

|      |   |                           |
|------|---|---------------------------|
| $E$  | = | Emisión                   |
| $fe$ | = | Factor de emisión         |
| $Na$ | = | Nivel de actividad        |
| $Ea$ | = | Eficiencia de abatimiento |

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

Los factores de emisión utilizan distintos parámetros para su determinación, los cuales pueden ser obtenidos de fuentes bibliográficas o de estudios específicos realizados para el proyecto o en la zona afectada. Al respecto, se aclara que los parámetros seleccionados deben ser representativos de la zona afectada o de las actividades realizadas en el proyecto.

El nivel de actividad depende de las condiciones específicas del proyecto, por lo que la información con la que se obtiene debe ser declarada por el Titular en el anexo de emisiones respectivo, y ser presentado para cada año del proyecto.

#### 4.4 ANÁLISIS DEL ARTÍCULO 64 DEL DS 31/2016 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.

Una vez obtenida la estimación de emisiones atmosféricas para todos los años en que se ejecuta el proyecto, se debe presentar un análisis del Art. 64 del DS 31/2016 del MMA (PPDA RM) como se presenta a continuación.

En primer lugar, se debe calcular el MP2,5 equivalente a partir de las emisiones anuales de NOx, SOx y NH3, ponderando cada una de ellas por los factores indicados en el Art. 61 del PPDA RM, mostrados en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 conversión para mp2,5 equivalente por contaminante.

| <b>Contaminante (1 [t/año])</b> | <b>Emisión equivalente MP2,5 [t/año]</b> |
|---------------------------------|--|
| <b>SO2</b>                      | 0,34089                                  |
| <b>NOx</b>                      | 0,11757                                  |
| <b>NH3</b>                      | 0,11339                                  |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Una vez obtenidos estos resultados, se suman de forma paralela al MP10 y al MP2,5. A estos valores los denominamos MP10 equivalente total (MP10eq) y MP2,5 equivalente total (MP2,5eq).

Tabla 2.3 emisión máxima por contaminante.

| <b>Contaminante</b> | <b>Emisión máxima [t/año]</b> |
|---------------------|-------------------------------|
| <b>MP10eq</b>       | 2,5                           |
| <b>MP2,5eq</b>      | 2                             |
| <b>NOx</b>          | 8                             |
| <b>SO2</b>          | 10                            |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Luego, para cada año del proyecto, se debe tener en consideración la emisión máxima por contaminante, indicada en el Art. 64 del PPDA RM, y presentada en la Tabla 2.3, para luego evaluar los siguientes escenarios:

- En caso que se supere simultáneamente la emisión máxima de MP10eq y MP2,5eq, se debe compensar la emisión máxima total de Material Particulado equivalente.
- En caso que se supere el límite establecido para MP2,5eq, pero no para MP10eq, entonces se compensa el MP2,5eq.
- En caso que se supere el límite establecido para MP10eq, pero no para MP2,5eq, entonces se compensa el MP10eq.
- En caso que no se supere el límite para MP10eq, y tampoco para MP2,5eq, entonces se debe analizar si las emisiones de NOx y SO2 superan el límite de cada contaminante, compensando en caso de que lo superen.

Cabe señalar, que las compensaciones deben considerar los criterios indicados en el Art. 63 del PPDA RM.

#### 4.5 FRACCIÓN DE COMBUSTIÓN

Para determinar la fracción por combustión tanto del MP10eq como del MP2,5eq, primero, se deben sumar en paralelo todas las emisiones de MP10 y MP2,5 correspondientes a las actividades de combustión, descritas en la Tabla 2.1, y luego, a estas emisiones se debe sumar el MP2,5 equivalente, obtenido a partir de las emisiones anuales de NOx, SO2 y NH3, ponderadas por los factores de la Tabla 2.2. Finalmente, se obtiene la fracción por combustión dividiendo las emisiones obtenidas anteriormente para MP10 y MP2,5, por el MP10eq y el MP2,5eq totales. Para proyectos que tengan que compensar sus emisiones, el valor de la fracción por combustión deberá ser presentado en porcentaje (%), como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Tabla ejemplo de emisiones a compensar

| Año | Fase | Emisión de (contaminante a compensar) [ton/año] | Emisión a compensar al 120% [ton/año] | Fracción por combustión [%] |
|-----|------|---|---------------------------------------|-----------------------------|
|     |      |   |                                       |                             |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

#### 4.6 CONSIDERACIONES PCE PRELIMINAR

Cuando un proyecto debe compensar sus emisiones atmosféricas, de acuerdo al Art. 64 del PPDA, debe incluir un Programa de Compensación de Emisiones (PCE) preliminar dentro del informe de Estimación de Emisiones. Los contenidos mínimos de este PCE preliminar se muestran a continuación:

- a. Resumen de las emisiones a compensar.
- b. Presentación de al menos una alternativa de compensación.
- c. Cronograma que considere los periodos de evaluación e implementación del PCE preliminar.

Además, Según se indica en el Artículo 63 del DS N°31/2016, las medidas de compensación “*deberán cumplir los siguientes criterios:*

- a. Medibles, esto es, que permitan cuantificar la reducción de las emisiones que se produzca a consecuencia de ellas.*
- b. Verificables, esto es, que generen una reducción de emisiones que se pueda cuantificar con posterioridad de la implementación.*
- c. Adicionales, entendiendo por tal que las medidas propuestas no respondan a otras obligaciones a que esté sujeto el titular, o bien, que no correspondan a una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o particulares.*
- d. Permanentes, entendiendo por tal que la rebaja permanezca por el período en que el proyecto está obligado a reducir emisiones.”*

Lo anterior, sin perjuicio que el PCE definitivo deba ser presentado ante la SEREMI del Medio Ambiente para su aprobación.

Finalmente, señalar que el Art. 64 del D.S. 31/2016 exige que los proyectos evaluados que sean aprobados con exigencias de compensación de emisiones sólo podrán dar inicio a la ejecución del proyecto o actividad al contar con la aprobación del respectivo PCE.

## 4.7 ACTIVIDADES GENERADORAS DE EMISIONES

### 4.7.1 DEMOLICIÓN

Para estimar las emisiones de demolición de construcciones emplazadas en los sitios de cada proyecto (edificios, casas, pavimento, etc.), la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), en su Guía de Inventario de Emisiones de Contaminantes, presenta una metodología basada en el enfoque US EPA Tier 1 y factores de emisión diferenciados para demolición de casas, departamentos, construcciones no residenciales y construcciones viales.

El algoritmo de esta metodología está dado por la Ec. 2.

$$E_i = FE_i \times A \times d \times (1 - CE) \times \left(\frac{24}{PE}\right) \times \left(\frac{s}{9\%}\right) \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

$E_i$ : Emisiones del contaminante  $i$ , en [kg/año].

$FE_i$ : Factor de emisión del contaminante  $i$ , en [kg/m<sup>2</sup> · año].

$A$ : Área a demoler, en [m<sup>2</sup>].

$d$ : duración de la demolición, en años.

$CE$ : Eficiencia de abatimiento.

$PE$ : Índice de evapotranspiración de Thornthwaite.

$s$ : Contenido de finos en el suelo.

Los factores de emisión se presentan a continuación, por tipo de construcción.

Tabla 2.5. Factor de emisión para demolición de construcciones residenciales

| Factor de Emisión                    | Unidad                    |
|--------------------------------------|---------------------------|
| <b><math>feMP10 = 0,086</math></b>   | [kg/m <sup>2</sup> · año] |
| <b><math>feMP2,5 = 0,0086</math></b> | [kg/m <sup>2</sup> · año] |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Tabla 2.6. Factor de emisión para demolición de departamentos

| Factor de Emisión                  | Unidad                    |
|------------------------------------|---------------------------|
| <b><math>feMP10 = 0,3</math></b>   | [kg/m <sup>2</sup> · año] |
| <b><math>feMP2,5 = 0,03</math></b> | [kg/m <sup>2</sup> · año] |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Tabla 2.7. Factor de emisión para demolición de construcciones no residenciales

| Factor de Emisión                     | Unidad                    |
|---------------------------------------|---------------------------|
| <b><math>f_{eMP10} = 1</math></b>     | [kg/m <sup>2</sup> · año] |
| <b><math>f_{eMP2,5} = 0, 1</math></b> | [kg/m <sup>2</sup> · año] |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Tabla 2.8. Factor de emisión para demolición de construcciones viales

| Factor de Emisión                      | Unidad                    |
|--|---------------------------|
| <b><math>f_{eMP10} = 2, 3</math></b>   | [kg/m <sup>2</sup> · año] |
| <b><math>f_{eMP2,5} = 0, 23</math></b> | [kg/m <sup>2</sup> · año] |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

El nivel de actividad A, se define como los metros cuadrados construidos que serán demolidos por año, producto de la ejecución del proyecto.

Como control de eficiencia CE, se pueden utilizar los indicados por la EEA en la página 9 del (EMEP/EEA, 2019a), mostrados en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Control de eficiencia por tipo de construcción

| Tipo de construcción | Control de eficiencia |
|----------------------|-----------------------|
| Residencial          | 0                     |
| Departamentos        | 0                     |
| No residencial       | 0,5                   |
| Construcción vial    | 0,5                   |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Para el índice de evapotranspiración de Thornthwaite PE, se puede utilizar el indicado para clima semiárido en la página 9 del (EMEP/EEA, 2019a), de 16 como condición más desfavorable.

Por último, para el contenido de finos s, se puede utilizar el presentado como suelo arenoso, en la página 10 del (EMEP/EEA, 2019a), de 12%, pues en las construcciones es usual tener este tipo de suelo para mayor estabilidad.

## 4.7.2 MOVIMIENTO DE TIERRA

### 4.7.2.1 ESCARPE

Corresponde a la actividad de preparación del terreno (movimiento de tierra) y retiro de cobertura vegetal.

Tabla 2.10. Factor de emisión para escarpe

| Factor de Emisión    | Unidad  |
|----------------------|---------|
| $fe_{MP10} = 5,7$    | [kg/km] |
| $fe_{MP2,5} = 0,855$ | [kg/km] |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Para el factor de emisión de MP2,5 se considera que corresponde a un 15% del MP10, al igual que en el caso de la perforación.

El nivel de actividad corresponde a los kilómetros recorridos por la maquinaria que realiza el escarpe. Este valor se determina a partir de las hectáreas a escarpar en el proyecto, las cuales deben ser multiplicadas por el factor 3,57 [km/ha]. En el caso que el proyecto considere obras de preparación del terreno en más de una ocasión sobre el mismo terreno, se debe considerar como área extra de escarpe para la contabilización de las emisiones. Por último, como respaldo, y para mayor detalle, el Titular debe presentar las áreas de escarpe en un mapa formato KMZ.

### 4.7.2.2 EXCAVACIÓN

Corresponde a las excavaciones realizadas en el predio del proyecto, por lo general mediante la utilización de maquinaria pesada.

Tabla 2.11. Factor de emisión para excavación

| Fórmula <sup>5</sup>                                       | Unidad | Parámetros  |
|--|--------|---|
| $fe_{MP10} = \frac{0,75 \times 0,45(s)^{1,5}}{(M)^{1,4}}$  | [kg/h] | s: Porcentaje de finos del suelo. Valor por defecto: 8,5.   |
| $fe_{MP2,5} = \frac{0,105 \times 2,6(s)^{1,2}}{(M)^{1,3}}$ | [kg/h] | M: Porcentaje de humedad del suelo. Valor por defecto: 6,5. |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

El nivel de actividad se determina dividiendo el volumen a excavar por el rendimiento de la maquinaria utilizada en la excavación. Por defecto, se considerará que para una máquina con capacidad de palada de 0,9 [m3], se tiene un rendimiento igual a 54,27 [m3/h], aplicando una eficiencia del 67% (Caterpillar, 2017). Cabe señalar que dicho rendimiento hace referencia a metros cúbicos sueltos de tierra excavada, por lo tanto, al momento de determinar las horas de operación de la excavadora, se debe utilizar el volumen de tierra esponjado en un 20% (INN Chile, 2000).

Para justificar el volumen a excavar, el Titular debe presentar la siguiente información:

- Dimensiones del volumen a excavar.
- Mapa en formato KMZ con las áreas de excavación.

#### 4.7.2.3 CARGUÍO Y VOLTEO DE MATERIAL

Corresponden a las emisiones producidas al momento de cargar o descargar el material escarpado, excavado, los escombros, etc.

Tabla 2.12. Factor de emisión para carguío y volteo de material

| Fórmula <sup>7</sup>   | Unidad | Parámetros   |
|--|--------|--|
| $fe = k(0,0016) \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}}$ | [kg/t] | k MP10: 0,35.<br>k MP2,5: 0,053.<br>U: velocidad del viento promedio. Valor por defecto: 5 [m/s].<br>M: porcentaje de humedad del suelo. Valor por defecto: 6,5. |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Para contemplar todas las emisiones, el nivel de actividad es equivalente a las toneladas del material cargado más el descargado, es decir, es igual a las toneladas del material trasladado, multiplicadas por dos.

### 4.7.3 RESUSPENSIÓN POR TRÁNSITO DE VEHÍCULOS

#### 4.7.3.1 TRÁNSITO DE VEHÍCULOS POR CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Cuando un vehículo transita por un camino no pavimentado, la fuerza de las ruedas causa pulverización de las partículas superficiales, las cuales son levantadas por el movimiento rotatorio de las ruedas en combinación con la turbulencia generada por el paso del vehículo. Respecto a lo anterior, se pueden distinguir dos factores de emisión, dependiendo si se transita por un camino industrial, dominado por vehículos pesados (peso promedio sobre 2,7 [t]), o uno público, dominado por vehículos livianos (peso promedio menor a 2,7 [t]). Estos factores de emisión pueden observarse en la Tabla 2.13 y la Tabla 2.14.

Tabla 2.13. Factor de emisión para el tránsito de vehículos por caminos no pavimentados industriales dominados por vehículos pesados

| Fórmula <sup>1</sup>   | Unidad | Parámetros   |
|--|--------|--|
| $fe = k \times 281,9 \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \left(\frac{W}{2,72}\right)^{0,45}$ | [g/km] | k MP10: 1,5.<br>k MP2,5: 0,15.<br>s: contenido de material fino en la superficie [%]. Valor por defecto: 8,5.<br>W: peso promedio de la flota que transita por las vías [t]. |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

El peso promedio de la flota, para un determinado camino no pavimentado y año cronológico, se calcula mediante la Ec. 3:

$$W = \frac{\sum_i^n [\bar{P}_i \times Nv_i]}{\sum_j^n Nv_j} \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

*W*: Peso promedio de la flota que transita por un determinado camino y año cronológico, en [t].

*P<sub>i</sub>*: Promedio entre el peso con y sin carga (en [t]), del vehículo que hace un determinado tipo de viaje i.

Por ejemplo, un tipo de viaje puede ser el traslado de escombros en el año 1 del proyecto.

*Nv<sub>i</sub>*: Número de viajes del tipo de viaje i, en el año cronológico en cuestión.

*Nv<sub>j</sub>*: Número de viajes del tipo de viaje j, en el año cronológico en cuestión.

*n*: Cantidad de tipos de viajes en el año cronológico en cuestión.

Tabla 2.14. Factor de emisión para el tránsito de vehículos por caminos no pavimentados públicos dominados por vehículos livianos

| Fórmula <sup>2</sup>  | Unidad | Parámetros  |
|---|--------|---|
| $fe = \frac{k \times 281,9 \left(\frac{S}{12}\right) \left(\frac{S}{48,28}\right)^{0,5}}{\left(\frac{M}{0,5}\right)^{0,2}} - C$ | [g/km] | k MP10: 1,8.<br>k MP2,5: 0,18.<br>C MP10: 0,132493<br>C MP2,5: 0,101484<br>s: contenido de material fino en la superficie [%]. Valor por defecto: 8,5.<br>M: Humedad del material superficial [%]. Valor por defecto: 6,5%.<br>S: velocidad media vehicular [km/h]. |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Para considerar el efecto de las lluvias, se puede aplicar un factor de 0,953, obtenido mediante la Ec. 4, que corresponde a su vez a la ecuación (2) presentada en (EPA, 2006).

$$\text{Factor de corrección por lluvia camino no pavimentado} = 1 - \frac{P}{365} \quad \text{Ec.4}$$

Donde P corresponde al número de días en el año con precipitaciones superiores a 0,254 [mm].

Para el nivel de actividad se deben considerar tanto los caminos no pavimentados internos como los externos, además de los viajes de ida y vuelta de cada vehículo. También se debe adjuntar una tabla que contenga todos los caminos no pavimentados, junto con sus distancias. Y por último, para justificar los kilómetros de cada camino, se debe adjuntar un mapa en formato KMZ en donde aparezcan todos los caminos no pavimentados, procurando que concuerden los nombres de los caminos tanto en el informe como en el archivo KMZ.

Cabe señalar que, en consideración con la escasez hídrica de la Región, se privilegiará la aplicación de supresor de polvo como abatimiento por sobre las actividades de humectación, siempre y cuando no se infrinjan normativas vigentes al respecto. Además, solo se podrá considerar abatimiento en caminos no pavimentados al interior del sitio del proyecto, y en caso de hacerlo, deberá 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, al cual se accede a mediante la página web <http://www.sma.gob.cl>, según lo establecido en la Resolución Exenta N°223, de 2015, de la SMA. Este deberá contener objetivos, acciones, frecuencia de aplicación, responsable, ficha de registro, medios de verificación, indicadores, entre otros contenidos especificados en los artículos 14 y siguientes de la citada resolución.

#### 4.7.3.2 TRÁNSITO DE VEHÍCULOS POR VÍAS PAVIMENTADAS

Corresponde a la resuspensión de las partículas presentes en los caminos pavimentados, debido al paso de vehículos. La carga superficial es alimentada por diversas fuentes, como por ejemplo: derrame de material, arrastre de partículas desde caminos no pavimentados, erosión del viento, degradación del pavimento, etc. A continuación, en la Tabla 2.15 se presenta el factor de emisión correspondiente a esta actividad.

Tabla 2.15. Factor de emisión para el tránsito de vehículos por caminos pavimentados

| Fórmula <sup>4</sup>                                 | Unidad | Parámetros   |
|--|--------|--|
| $fe = k \times (sL)^{0,91} (W \times 1,1023)^{1,02}$ | [g/km] | k MP10: 0,62 g/km.<br>k MP2,5: 0,15 g/km.<br><br>sL: carga superficial de finos [g/m <sup>2</sup> ]. Valores por defecto <sup>5</sup> :<br>2,4 – para vías con flujo inferior a 500 vehículos día.<br>0,7 – para vías con flujo entre 500 y 10.000 vehículos día.<br>0,3 – para vías con flujo superior a 10.000 vehículos día.<br><br>W: peso promedio en toneladas de los vehículos que transitan por las vías. Por defecto se puede usar un valor de 8 [t]. |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Para considerar el efecto de las lluvias, se puede aplicar un factor de 0,988, obtenido mediante la Ec.5, que corresponde a su vez a la ecuación (2) presentada en (EPA, 2011).

$$\text{Factor de corrección por lluvia camino pavimentado} = 1 - \frac{P}{4 \times 365} \quad \text{Ec.5}$$

Donde P corresponde al número de días en el año con precipitaciones superiores a 0,254 [mm].

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. De esta manera, se deben calcular las emisiones por rango de flujo de forma separada, puesto que tienen distintos factores de emisión. Para lo anterior, se debe presentar una tabla con cada ruta, separada por tramos según sus flujos. Como ejemplo de formato, se presenta la Tabla 2.16.

Por último, al igual que para el tránsito de vehículos por caminos no pavimentados, para justificar los kilómetros de cada trayecto estos se deben incluir en un mapa formato KMZ, procurando que concuerden los nombres de los caminos tanto en el informe como en el archivo KMZ.

Tabla 2.16. Ejemplo de tabla de rutas

| Ruta   | Tramo de ruta     | Kilómetros             | Flujo      |
|--------|-------------------|------------------------|------------|
| Ruta 1 | Calle a – Calle b | (kilómetros del tramo) | (A, B o C) |
| Ruta 1 | Calle b – Calle c | ...                    | ...        |
| ...    | ...               | ...                    | ...        |
| Ruta n | ...               | ...                    | ...        |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Dónde:

Flujo A: inferior a 500 [veh/día].

Flujo B: entre 500 y 10.000 [veh/día].

Flujo C: superior a 10.000 [veh/día].

#### 4.7.3.3 CÁLCULO DEL NÚMERO DE VIAJES

Tanto para el tránsito de vehículos por caminos no pavimentados como pavimentados, el número de viajes para el traslado de un determinado material, se obtiene de la siguiente manera:

- En primer lugar, se divide el volumen de material a transportar, por la capacidad en metros cúbicos del camión que lo transporta, luego, este resultado se debe redondear al entero superior.
- De forma paralela, se dividen las toneladas de material a transportar, por la capacidad en toneladas del camión que lo transporta, y al igual que en el caso anterior, este resultado se redondea al entero superior.
- Finalmente, el número de viajes de ida corresponde al máximo entre los dos resultados obtenidos anteriormente, puesto que de esta manera se asegura que no se sobrepase la capacidad de los vehículos, tanto en volumen como en peso. 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 de tierra y escombros se debe considerar un esponjamiento del 20% y 40%, respectivamente, acorde a lo señalado en la Tabla 2 de (INN Chile, 2000).

Para presentar la información de forma ordenada, por un lado, se deben reportar en una tabla todos los vehículos que se utilizarán en el proyecto, indicando tara (peso de un vehículo sin carga), capacidad volumétrica (en [m<sup>3</sup>]), capacidad másica (en [t]), y peso promedio entre vehículo cargado y descargado (como ejemplo, ver Tabla 2.17. Y por otro, en una segunda tabla, se deben mostrar los distintos materiales a transportar en cada año, más sus volúmenes, densidades, pesos, vehículos que los transportan, ruta utilizada para su transporte, y número de viajes ida y vuelta (como ejemplo, ver Tabla 2.18.).

Tabla 2.17. Ejemplo de tabla de vehículos del proyecto

| Vehículo          | Tara [t]              | Capacidad [m <sup>3</sup> ]              | Capacidad [t]              | Peso Bruto [t]             | Peso promedio [t]             |
|-------------------|-----------------------|--|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <b>Vehículo 1</b> | (Tara vehículo 1 [t]) | (Capacidad vehículo 1 [m <sup>3</sup> ]) | (Capacidad vehículo 1 [t]) | (Tara [t] + Capacidad [t]) | (Tara [t] + Capacidad [t])/2) |
| ...               | ...                   | ...                                      | ...                        | ...                        | ...                           |
| <b>Vehículo n</b> | ...                   | ...                                      | ...                        | ...                        | ...                           |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Tabla 2.18. Ejemplo de tabla de materiales

| Material          | Año | Volumen                     | Densidad              | Peso                     | Vehículo              | Ruta              | N° de viajes (ida y vuelta)      |
|-------------------|-----|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------|
| <b>Material 1</b> | 1   | (Volumen material 1, año 1) | (Densidad material 1) | (Peso material 1, año 1) | (Vehículo material 1) | (Ruta material 1) | (N° de 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) | (N° de viajes material 1, año 2) |
| ...               | ... | ...                         | ...                   | ...                      | ...                   | ...               | ...                              |
| <b>Material n</b> | ... | ...                         | ...                   | ...                      | ...                   | ...               | ...                              |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

#### 4.7.4 COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS

Para la estimación de las emisiones atmosféricas producto de la combustión interna de vehículos, se deberá utilizar los factores de emisión presentados en (EMEP/EEA, 2019c), en particular, los señalados en la sección 3.3 “Tier 2 Method”. Estos factores dependen de la categoría vehicular, del tipo de combustible, cilindrada, peso, y de la normativa de emisiones. A continuación, en la Tabla 2.19 se presentan las distintas categorías señaladas anteriormente.

Tabla 2.19. Categorías de los factores de emisión de combustión de vehículos.

| Categoría vehicular            | Subcategoría              | Tecnología   |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| Vehículo de pasajeros          | Gasolina < 0,8 [l]        | Euro 4, Euro 5, Euro 6   |
|                                | Gasolina ≥ 0,8 [l]        | PRE ECE, ECE 15/00-01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04, Ciclo abierto (solo para < 2.0 l), Euro 1 – Euro 6 2020+ |
|                                | Diésel < 1,4 [l]          | Euro 4, Euro 5, Euro 6 2020+   |
|                                | Diésel ≥ 1,4 [l]          | Convencional, Euro 1 – Euro 6 2020+  |
|                                | GLP                       | Convencional, Euro 1 – Euro 6  |
|                                | Motor de 2 tiempos        | Convencional   |
|                                | Híbrido                   | Euro 4, Euro 5, Euro 6 2020+   |
|                                | E85 (etanol)              | Euro 4, Euro 5, Euro 6   |
| Vehículos comerciales livianos | GNC                       | Euro 4, Euro 5, Euro 6   |
|                                | Gasolina < 3,5 [t]        | Convencional, Euro 1 – Euro 6  |
| Vehículos pesados              | Diésel < 3,5 [t]          | Convencional, Euro 1 – Euro 6  |
|                                | Gasolina > 3,5 [t]        | Convencional   |
| Buses                          | Diésel > 3,5 [t]          | Convencional, Euro I – Euro VI   |
|                                | Buses urbanos a GNC       | Euro I, Euro II, Euro III, EEV   |
|                                | Buses urbanos estándar    | Convencional, Euro I - Euro VI   |
|                                | Buses urbanos a biodiesel | Convencional, Euro I - Euro VI   |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Los contaminantes contemplados en estos factores son: MP10, MP2,5 (que se considera equivalente al MP10), NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano (COVDM), entre otros. Para la estimación de las emisiones de SO<sub>2</sub> se debe utilizar la metodología Tier 1, en donde se asume que todo el azufre del combustible es transformado en SO<sub>2</sub>, usando la Ec. 6.

$$E_{SO_2,m} = 2 \times k_{S,m} \times CC_m \quad \text{Ec.6}$$

Dónde:

- $E_{SO_2,m}$ : Emisiones de SO<sub>2</sub> referidas al combustible m, en [g/año].
- $k_{S,m}$ : Peso relativo del azufre en el combustible m, en [g/g combustible]. Para efectos de la revisión de proyectos en la Región Metropolitana, se considerará que el contenido de azufre en el combustible es de 15 [ppm], que equivale a 0,000015 [g/g combustible].
- $CC_m$ : Consumo del combustible m [g/año].

Con respecto al nivel de actividad, este corresponde a los kilómetros anuales recorridos por cada tipo de vehículo del proyecto.

A continuación, en la Tabla 2.20 se presentan los factores de emisión y de consumo de combustible, producto de la combustión interna de los vehículos.

Tabla 2.20. Factores de emisión y de consumo por combustión de vehículos

| Categoría              | Subcategoría                             | Tecnología <sup>3</sup> | MP10<br>[g/km] | MP2,5<br>[g/km] | NOx<br>[g/km] | CC<br>[g/km] | SO <sub>2</sub> <sup>4</sup><br>[g/km] | NH <sub>3</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | COVDM<br>[g/km] |
|------------------------|--|-------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--|---------------------------|--------------|-----------------|
| Vehículos de pasajeros | Gasolina < 0,8 [l]<br>"Petrol Mini"      | PC Euro 4 - 98/69/EC II | 0,0011         | 0,0011          | 0,0560        | 49,000       | 0,0015                                 | 0,0339                    | 0,6700       | 0,0480          |
|                        |  | PC Euro 5 – EC 715/2007 | 0,0014         | 0,0014          | 0,0560        | 49,000       | 0,0015                                 | 0,0123                    | 0,6700       | 0,0480          |
|                        |  | PC Euro 6 up to 2016    | 0,0014         | 0,0014          | 0,0560        | 49,000       | 0,0015                                 | 0,0123                    | 0,6700       | 0,0480          |
|                        |  | PC Euro 6 2017-2019     | 0,0016         | 0,0016          | 0,0560        | 49,000       | 0,0015                                 | 0,0123                    | 0,6700       | 0,0480          |
|                        |  | PC Euro 6 2020+         | 0,0016         | 0,0016          | 0,0560        | 49,000       | 0,0015                                 | 0,0123                    | 0,6700       | 0,0480          |
|                        | Gasolina 0,8 – 1,4 [l]<br>"Petrol Small" | PRE ECE                 | 0,0022         | 0,0022          | 1,9100        | 65,000       | 0,0020                                 | 0,0020                    | 37,300       | 2,7700          |
|                        |  | ECE 15/00-01            | 0,0022         | 0,0022          | 1,9100        | 65,000       | 0,0020                                 | 0,0020                    | 29,600       | 2,1900          |
|                        |  | ECE 15/02               | 0,0022         | 0,0022          | 2,1200        | 65,000       | 0,0020                                 | 0,0020                    | 21,700       | 2,0600          |
|                        |  | ECE 15/03               | 0,0022         | 0,0022          | 2,3000        | 65,000       | 0,0020                                 | 0,0020                    | 21,100       | 2,0600          |
|                        |  | ECE 15/04               | 0,0022         | 0,0022          | 2,0700        | 65,000       | 0,0020                                 | 0,0020                    | 13,100       | 1,6800          |
|                        |  | Open Loop               | 0,0022         | 0,0022          | 1,5300        | 65,000       | 0,0020                                 | 0,0020                    | 11,300       | 0,9600          |
|                        |  | PC Euro 1 - 91/441/EEC  | 0,0022         | 0,0022          | 0,4260        | 56,000       | 0,0017                                 | 0,0922                    | 4,8800       | 0,4670          |
|                        |  | PC Euro 2 - 94/12/EEC   | 0,0022         | 0,0022          | 0,2290        | 56,000       | 0,0017                                 | 0,1043                    | 2,4200       | 0,2060          |
|                        |  | PC Euro 3 - 98/69/EC I  | 0,0011         | 0,0011          | 0,0900        | 56,000       | 0,0017                                 | 0,0342                    | 2,0700       | 0,0890          |
|                        |  | PC Euro 4 - 98/69/EC II | 0,0011         | 0,0011          | 0,0560        | 56,000       | 0,0017                                 | 0,0341                    | 0,6900       | 0,0480          |
|                        | PC Euro 5 – EC 715/2007                  | 0,0014                  | 0,0014         | 0,0560          | 56,000        | 0,0017       | 0,0123                                 | 0,6900                    | 0,0480       |                 |
|                        | PC Euro 6 up to 2016                     | 0,0014                  | 0,0014         | 0,0560          | 56,000        | 0,0017       | 0,0123                                 | 0,6900                    | 0,0480       |                 |
|                        | PC Euro 2017-2019                        | 0,0016                  | 0,0016         | 0,0560          | 56,000        | 0,0017       | 0,0123                                 | 0,6900                    | 0,0480       |                 |
|                        | PC Euro 6 2020+                          | 0,0016                  | 0,0016         | 0,0560          | 56,000        | 0,0017       | 0,0123                                 | 0,6900                    | 0,0480       |                 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

| Categoría               | Subcategoría                                    | Tecnología <sup>3</sup> | MP10<br>[g/km] | MP2,5<br>[g/km] | NOx<br>[g/km] | CC<br>[g/km] | SO <sub>2</sub> <sup>4</sup><br>[g/km] | NH <sub>3</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | COVDM<br>[g/km] |
|-------------------------|---|-------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--|---------------------------|--------------|-----------------|
|                         | Gasolina 1,4 - 2,0 [l]<br>"Petrol Medium"       | PRE ECE                 | 0,0022         | 0,0022          | 2,5300        | 77,000       | 0,0023                                 | 0,0020                    | 37,300       | 2,8000          |
|                         |   | ECE 15/00-01            | 0,0022         | 0,0022          | 2,5300        | 77,000       | 0,0023                                 | 0,0020                    | 29,600       | 2,1900          |
|                         |   | ECE 15/02               | 0,0022         | 0,0022          | 2,4000        | 77,000       | 0,0023                                 | 0,0020                    | 21,700       | 2,0600          |
|                         |   | ECE 15/03               | 0,0022         | 0,0022          | 2,5100        | 77,000       | 0,0023                                 | 0,0020                    | 21,100       | 2,0600          |
|                         |   | ECE 15/04               | 0,0022         | 0,0022          | 2,6600        | 77,000       | 0,0023                                 | 0,0020                    | 13,400       | 1,6800          |
|                         |   | Open Loop               | 0,0022         | 0,0022          | 1,2900        | 77,000       | 0,0023                                 | 0,0020                    | 6,4900       | 0,2900          |
|                         |   | PC Euro 1 - 91/441/EEC  | 0,0022         | 0,0022          | 0,4850        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,0922                    | 3,9200       | 0,5300          |
|                         |   | PC Euro 2 - 94/12/EEC   | 0,0022         | 0,0022          | 0,2550        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,1043                    | 2,0400       | 0,2510          |
|                         |   | PC Euro 3 - 98/69/EC I  | 0,0011         | 0,0011          | 0,0970        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,0342                    | 1,8200       | 0,1190          |
|                         |   | PC Euro 4 - 98/69/EC II | 0,0011         | 0,0011          | 0,0610        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,0342                    | 0,6200       | 0,0650          |
|                         |   | PC Euro 5 – EC 715/2007 | 0,0014         | 0,0014          | 0,0610        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,0123                    | 0,6200       | 0,0650          |
|                         |   | PC Euro 6 up to 2016    | 0,0014         | 0,0014          | 0,0610        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,0123                    | 0,6200       | 0,0650          |
|                         |   | PC Euro 6 2017-2019     | 0,0016         | 0,0016          | 0,0610        | 66,000       | 0,0020                                 | 0,0123                    | 0,6200       | 0,0650          |
|                         | PC Euro 6 2020+                                 | 0,0016                  | 0,0016         | 0,0610          | 66,000        | 0,0020       | 0,0123                                 | 0,6200                    | 0,0650       |                 |
|                         | Gasolina > 2,0 [l]<br>"Large-SUV-<br>Executive" | PRE ECE                 | 0,0022         | 0,0022          | 3,9000        | 95,000       | 0,0029                                 | 0,0020                    | 37,300       | 2,7700          |
|                         |   | ECE 15/00-01            | 0,0022         | 0,0022          | 3,9000        | 95,000       | 0,0029                                 | 0,0020                    | 29,600       | 2,1900          |
|                         |   | ECE 15/02               | 0,0022         | 0,0022          | 2,7000        | 95,000       | 0,0029                                 | 0,0020                    | 21,700       | 2,1000          |
|                         |   | ECE 15/03               | 0,0022         | 0,0022          | 3,5200        | 95,000       | 0,0029                                 | 0,0020                    | 21,100       | 2,1000          |
|                         |   | ECE 15/04               | 0,0022         | 0,0022          | 2,9000        | 95,000       | 0,0029                                 | 0,0020                    | 13,400       | 1,6790          |
|                         |   | PC Euro 1 - 91/441/EEC  | 0,0022         | 0,0022          | 0,4670        | 86,000       | 0,0026                                 | 0,0922                    | 3,4100       | 0,4300          |
|                         |   | PC Euro 2 - 94/12/EEC   | 0,0022         | 0,0022          | 0,2420        | 86,000       | 0,0026                                 | 0,1043                    | 1,6700       | 0,1960          |
|                         |   | PC Euro 3 - 98/69/EC I  | 0,0011         | 0,0011          | 0,0910        | 86,000       | 0,0026                                 | 0,0342                    | 1,5000       | 0,0880          |
|                         |   | PC Euro 4 - 98/69/EC II | 0,0011         | 0,0011          | 0,0590        | 86,000       | 0,0026                                 | 0,0343                    | 0,5300       | 0,0480          |
| PC Euro 5 – EC 715/2007 |   | 0,0014                  | 0,0014         | 0,0590          | 86,000        | 0,0026       | 0,0123                                 | 0,5300                    | 0,0480       |                 |
| PC Euro 6 up to 2016    | 0,0014  | 0,0014                  | 0,0590         | 86,000          | 0,0026        | 0,0123       | 0,5300                                 | 0,0480                    |              |                 |
| PC Euro 6 2017-2019     | 0,0016  | 0,0016                  | 0,0590         | 86,000          | 0,0026        | 0,0123       | 0,5300                                 | 0,0480                    |              |                 |
| PC Euro 6 2020+         | 0,0016  | 0,0016                  | 0,0590         | 86,000          | 0,0026        | 0,0123       | 0,5300                                 | 0,0480                    |              |                 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

| Categoría | Subcategoría                                  | Tecnología <sup>3</sup>  | MP10<br>[g/km] | MP2,5<br>[g/km] | NOx<br>[g/km] | CC<br>[g/km] | SO <sub>2</sub> <sup>4</sup><br>[g/km] | NH <sub>3</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | COVDM<br>[g/km] |
|-----------|---|--------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--|---------------------------|--------------|-----------------|
|           | Diésel < 1,4 [l]<br>"Diesel Small"            | PC Euro 4 - 98/69/EC II  | 0,0314         | 0,0314          | 0,5800        | 38,000       | 0,0011                                 | 0,0010                    | 0,0920       | 0,0140          |
|           |   | PC Euro 5 – EC 715/2007  | 0,0021         | 0,0021          | 0,5500        | 38,000       | 0,0011                                 | 0,0019                    | 0,0490       | 0,0100          |
|           |   | PC Euro 6 – EC 715/2007  | 0,0015         | 0,0015          | 0,4500        | 38,000       | 0,0011                                 | 0,0019                    | 0,0400       | 0,0100          |
|           |   | PC Euro 6c – EC 715/2007 | 0,0015         | 0,0015          | 0,3500        | 38,000       | 0,0011                                 | 0,0019                    | 0,0400       | 0,0100          |
|           |   | PC Euro 6 2020+          | 0,0015         | 0,0015          | 0,1700        | 38,000       | 0,0011                                 | 0,0019                    | 0,0400       | 0,0100          |
|           | Diésel 1,4 -2,0 [l]<br>"Diesel Medium"        | Convencional             | 0,2209         | 0,2209          | 0,5460        | 63,000       | 0,0019                                 | 0,0010                    | 0,6880       | 0,1590          |
|           |   | PC Euro 1 - 91/441/EEC   | 0,0842         | 0,0842          | 0,6900        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0010                    | 0,4140       | 0,0470          |
|           |   | PC Euro 2 - 94/12/EEC    | 0,0548         | 0,0548          | 0,7160        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0010                    | 0,2960       | 0,0350          |
|           |   | PC Euro 3 - 98/69/EC I   | 0,0391         | 0,0391          | 0,7730        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0010                    | 0,0890       | 0,0200          |
|           |   | PC Euro 4 - 98/69/EC II  | 0,0314         | 0,0314          | 0,5800        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0010                    | 0,0920       | 0,0140          |
|           |   | PC Euro 5 – EC 715/2007  | 0,0021         | 0,0021          | 0,5500        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0019                    | 0,0400       | 0,0080          |
|           |   | PC Euro 6 – EC 715/2007  | 0,0015         | 0,0015          | 0,4500        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0019                    | 0,0490       | 0,0080          |
|           |   | PC Euro 6c – EC 715/2007 | 0,0015         | 0,0015          | 0,3500        | 55,000       | 0,0017                                 | 0,0019                    | 0,0490       | 0,0080          |
|           | PC Euro 6 2020+                               | 0,0015                   | 0,0015         | 0,1700          | 38,000        | 0,0011       | 0,0019                                 | 0,0400                    | 0,0100       |                 |
|           | Diésel > 2,0 [l]<br>"Large-SUV-<br>Executive" | Convencional             | 0,2209         | 0,2209          | 0,8700        | 75,000       | 0,0023                                 | 0,0010                    | 0,6880       | 0,1590          |
|           |   | PC Euro 1 - 91/441/EEC   | 0,0842         | 0,0842          | 0,6900        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0010                    | 0,4140       | 0,0700          |
|           |   | PC Euro 2 - 94/12/EEC    | 0,0548         | 0,0548          | 0,7160        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0010                    | 0,2960       | 0,1000          |
|           |   | PC Euro 3 - 98/69/EC I   | 0,0391         | 0,0391          | 0,7700        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0010                    | 0,0890       | 0,0370          |
|           |   | PC Euro 4 - 98/69/EC II  | 0,0314         | 0,0314          | 0,5800        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0010                    | 0,0920       | 0,0140          |
|           |   | PC Euro 5 – EC 715/2007  | 0,0021         | 0,0021          | 0,6100        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0019                    | 0,0400       | 0,0080          |
|           |   | PC Euro 6 – EC 715/2007  | 0,0015         | 0,0015          | 0,2100        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0019                    | 0,0490       | 0,0080          |
|           |   | PC Euro 6c – EC 715/2007 | 0,0015         | 0,0015          | 0,1100        | 73,000       | 0,0022                                 | 0,0019                    | 0,0490       | 0,0080          |
|           | PC Euro 6 2020+                               | 0,0015                   | 0,0015         | 0,1700          | 38,000        | 0,0011       | 0,0019                                 | 0,0400                    | 0,0100       |                 |
|           | GLP   | Convencional             | 0,0022         | 0,0022          | 2,3600        | 59,000       | 0,0018                                 | 0,0020                    | 6,8320       | 1,0500          |
|           |   | PC Euro 1 - 91/441/EEC   | 0,0022         | 0,0022          | 0,4140        | 57,000       | 0,0017                                 | 0,0880                    | 3,5700       | 0,7230          |
|           |   | PC Euro 2 - 94/12/EEC    | 0,0022         | 0,0022          | 0,1800        | 57,000       | 0,0017                                 | 0,1007                    | 2,4800       | 0,3420          |
|           |   | PC Euro 3 - 98/69/EC I   | 0,0011         | 0,0011          | 0,0900        | 57,000       | 0,0017                                 | 0,0338                    | 1,7900       | 0,1200          |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

| Categoría                   | Subcategoría                                  | Tecnología <sup>3</sup>       | MP10<br>[g/km] | MP2,5<br>[g/km] | NOx<br>[g/km] | CC<br>[g/km] | SO <sub>2</sub> <sup>4</sup><br>[g/km] | NH <sub>3</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | COVDM<br>[g/km] |
|-----------------------------|---|-------------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--|---------------------------|--------------|-----------------|
|                             |   | PC Euro 4 - 98/69/EC II       | 0,0011         | 0,0011          | 0,0560        | 57,000       | 0,0017                                 | 0,0338                    | 0,6200       | 0,1000          |
|                             |   | PC Euro 5 – EC 715/2007       | N/A            | N/A             | 0,0560        | 57,000       | 0,0017                                 | 0,0338                    | 0,6200       | 0,1000          |
|                             |   | PC Euro 6 – EC 715/2007       | N/A            | N/A             | 0,0560        | 57,000       | 0,0017                                 | 0,0338                    | 0,6200       | 0,1000          |
|                             | 2-Tiempos                                     | Convencional                  | N/A            | N/A             | 0,7300        | 82,000       | 0,0025                                 | 0,0015                    | 11,400       | 8,9000          |
|                             | Híbridos < 1,4 l<br>“Petrol Small”            | Euro 4 y posteriores          | N/A            | N/A             | 0,0130        | 34,000       | 0,0010                                 | 0,0328                    | 0,0420       | 0,0010          |
|                             | Híbridos 1,4-2,0 [l]<br>“Petrol Medium”       | Euro 4 y posteriores          | N/A            | N/A             | 0,0130        | 34,000       | 0,0010                                 | 0,0327                    | 0,0430       | 0,0010          |
|                             | Híbridos >2,0 [l]<br>“Petrol Large”           | Euro 4 y posteriores          | N/A            | N/A             | 0,0130        | 34,000       | 0,0010                                 | 0,0327                    | 0,0430       | 0,0010          |
|                             | E85   | Euro 4 y posteriores          | 0,0011         | 0,0011          | 0,0530        | 87,000       | 0,0026                                 | 0,0339                    | 0,4590       | 0,0620          |
|                             | GNC   | Euro 4 y posteriores          | 0,0011         | 0,0011          | 0,0560        | 63,000       | 0,0019                                 | 0,0338                    | 0,6160       | 0,0350          |
|                             | <b>Vehículos<br/>livianos<br/>comerciales</b> | Gasolina <3,5 [t]<br>“Petrol” | Convencional   | 0,0023          | 0,0023        | 3,0900       | 85,000                                 | 0,0026                    | 0,0025       | 25,500          |
| LD Euro 1 - 93/59/EEC       |   |                               | 0,0023         | 0,0023          | 0,5630        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0758                    | 8,8200       | 0,6140          |
| LD Euro 2 - 96/69/EEC       |   |                               | 0,0023         | 0,0023          | 0,2300        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0910                    | 5,8900       | 0,3040          |
| PC Euro 3 - 98/69/EC I      |   |                               | 0,0011         | 0,0011          | 0,1290        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0302                    | 5,0500       | 0,1890          |
| PC Euro 4 - 98/69/EC II     |   |                               | 0,0011         | 0,0011          | 0,0640        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0302                    | 2,0100       | 0,1280          |
| PC Euro 5 – EC 715/2007     |   |                               | 0,0014         | 0,0014          | 0,0640        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0123                    | 1,3000       | 0,0960          |
| PC Euro 6 up to 2017        |   |                               | 0,0012         | 0,0012          | 0,0640        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0123                    | 1,3000       | 0,0960          |
| PC Euro 6 2018-2020         |   |                               | 0,0012         | 0,0012          | 0,0640        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0123                    | 1,3000       | 0,0960          |
| PC Euro 6 2021+             |   |                               | 0,0012         | 0,0012          | 0,0640        | 70,000       | 0,0021                                 | 0,0123                    | 1,3000       | 0,0960          |
| Diésel <3,5 [t]<br>“Diesel” |   | Convencional                  | 0,3560         | 0,3560          | 1,6600        | 89,000       | 0,0027                                 | 0,0012                    | 1,3400       | 0,1330          |
|                             |   | LD Euro 1 - 93/59/EEC         | 0,1170         | 0,1170          | 1,2200        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0012                    | 0,5770       | 0,1410          |
|                             |   | LD Euro 2 - 96/69/EEC         | 0,1170         | 0,1170          | 1,2200        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0012                    | 0,5770       | 0,1490          |
|                             |   | PC Euro 3 - 98/69/EC I        | 0,0783         | 0,0783          | 1,0300        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0012                    | 0,4730       | 0,0940          |
|                             |   | PC Euro 4 - 98/69/EC II       | 0,0409         | 0,0409          | 0,8310        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0012                    | 0,3750       | 0,0350          |
|                             |   | PC Euro 5 – EC 715/2007       | 0,0010         | 0,0010          | 1,1500        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0019                    | 0,0750       | 0,0350          |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

| Categoría          | Subcategoría             | Tecnología <sup>3</sup>    | MP10<br>[g/km] | MP2,5<br>[g/km] | NOx<br>[g/km] | CC<br>[g/km] | SO <sub>2</sub> <sup>4</sup><br>[g/km] | NH <sub>3</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | COVDM<br>[g/km] |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--|---------------------------|--------------|-----------------|
| Vehículos pesados  |                          | PC Euro 6 up to 2017       | 0,0009         | 0,0009          | 0,9600        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0019                    | 0,0750       | 0,0350          |
|                    |                          | PC Euro 6 2018-2020        | 0,0009         | 0,0009          | 0,4960        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0019                    | 0,0750       | 0,0350          |
|                    |                          | PC Euro 6 2021+            | 0,0009         | 0,0009          | 0,2480        | 80,000       | 0,0024                                 | 0,0019                    | 0,0750       | 0,0350          |
|                    | Gasolina > 3,5 [t]       | Conventional               | 0,0000         | 0,0000          | 6,6000        | 177,00       | 0,0053                                 | 0,0019                    | 59,500       | 5,2500          |
|                    |                          | Convencional               | 0,3330         | 0,3330          | 4,7000        | 125,00       | 0,0038                                 | 0,0029                    | 1,8500       | 1,0700          |
|                    | Diésel ≤ 7,5 [t]         | HD Euro I - 91/542/EEC I   | 0,1290         | 0,1290          | 3,3700        | 101,00       | 0,0030                                 | 0,0029                    | 0,6570       | 0,1930          |
|                    |                          | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,0610         | 0,0610          | 3,4900        | 101,00       | 0,0030                                 | 0,0029                    | 0,5370       | 0,1230          |
|                    |                          | HD Euro III - 2000         | 0,0566         | 0,0566          | 2,6300        | 101,00       | 0,0030                                 | 0,0029                    | 0,5840       | 0,1150          |
|                    |                          | HD Euro IV - 2005          | 0,0106         | 0,0106          | 1,6400        | 101,00       | 0,0030                                 | 0,0029                    | 0,0470       | 0,0050          |
|                    |                          | HD Euro V - 2008           | 0,0106         | 0,0106          | 0,9330        | 101,00       | 0,0030                                 | 0,0110                    | 0,0470       | 0,0050          |
|                    |                          | HD Euro VI                 | 0,0005         | 0,0005          | 0,1800        | 101,00       | 0,0030                                 | 0,0110                    | 0,0470       | 0,0050          |
|                    |                          | Convencional               | 0,3344         | 0,3344          | 8,9200        | 182,00       | 0,0055                                 | 0,0029                    | 2,1300       | 0,7760          |
|                    | Diésel 7,5 - 16 [t]      | HD Euro I - 91/542/EEC I   | 0,2010         | 0,2010          | 5,3100        | 155,00       | 0,0047                                 | 0,0029                    | 1,0200       | 0,3260          |
|                    |                          | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,1040         | 0,1040          | 5,5000        | 155,00       | 0,0047                                 | 0,0029                    | 0,9020       | 0,2070          |
|                    |                          | HD Euro III - 2000         | 0,0881         | 0,0881          | 4,3000        | 155,00       | 0,0047                                 | 0,0029                    | 0,9720       | 0,1890          |
|                    |                          | HD Euro IV - 2005          | 0,0161         | 0,0161          | 2,6500        | 155,00       | 0,0047                                 | 0,0029                    | 0,0710       | 0,0080          |
|                    |                          | HD Euro V - 2008           | 0,0161         | 0,0161          | 1,5100        | 155,00       | 0,0047                                 | 0,0110                    | 0,0710       | 0,0080          |
|                    |                          | HD Euro VI                 | 0,0008         | 0,0008          | 0,2910        | 155,00       | 0,0047                                 | 0,0110                    | 0,0710       | 0,0080          |
|                    |                          | Convencional               | 0,4180         | 0,4180          | 10,700        | 251,00       | 0,0075                                 | 0,0029                    | 1,9300       | 0,4860          |
|                    | Diésel 16 - 32 [t]       | HD Euro I - 91/542/EEC I   | 0,2970         | 0,2970          | 7,5200        | 210,00       | 0,0063                                 | 0,0029                    | 1,5500       | 0,4490          |
|                    |                          | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,1550         | 0,1550          | 7,9100        | 210,00       | 0,0063                                 | 0,0029                    | 1,3800       | 0,2900          |
| HD Euro III - 2000 |                          | 0,1300                     | 0,1300         | 6,2700          | 210,00        | 0,0063       | 0,0029                                 | 1,4900                    | 0,2780       |                 |
| HD Euro IV - 2005  |                          | 0,0239                     | 0,0239         | 3,8300          | 210,00        | 0,0063       | 0,0029                                 | 0,1050                    | 0,0100       |                 |
| HD Euro V - 2008   |                          | 0,0239                     | 0,0239         | 2,1800          | 210,00        | 0,0063       | 0,0110                                 | 0,1050                    | 0,0100       |                 |
| HD Euro VI         |                          | 0,0012                     | 0,0012         | 0,4220          | 210,00        | 0,0063       | 0,0110                                 | 0,1050                    | 0,0100       |                 |
| Convencional       |                          | 0,4910                     | 0,4910         | 12,800          | 297,00        | 0,0089       | 0,0029                                 | 2,2500                    | 0,5340       |                 |
| Diésel > 32 [t]    | HD Euro I - 91/542/EEC I | 0,3580                     | 0,3580         | 9,0400          | 251,00        | 0,0075       | 0,0029                                 | 1,9000                    | 0,5100       |                 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

| Categoría        | Subcategoría                                      | Tecnología <sup>3</sup>    | MP10<br>[g/km] | MP2,5<br>[g/km] | NOx<br>[g/km] | CC<br>[g/km] | SO <sub>2</sub> <sup>4</sup><br>[g/km] | NH <sub>3</sub><br>[g/km] | CO<br>[g/km] | COVDM<br>[g/km] |
|------------------|---|----------------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--|---------------------------|--------------|-----------------|
| Buses            |   | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,1940         | 0,1940          | 9,3600        | 251,00       | 0,0075                                 | 0,0029                    | 1,6900       | 0,3260          |
|                  |   | HD Euro III - 2000         | 0,1510         | 0,1510          | 7,4300        | 251,00       | 0,0075                                 | 0,0029                    | 1,7900       | 0,3080          |
|                  |   | HD Euro IV - 2005          | 0,0268         | 0,0268          | 4,6100        | 251,00       | 0,0075                                 | 0,0029                    | 0,1210       | 0,0120          |
|                  |   | HD Euro V - 2008           | 0,0268         | 0,0268          | 2,6300        | 251,00       | 0,0075                                 | 0,0110                    | 0,1210       | 0,0120          |
|                  |   | HD Euro VI                 | 0,0013         | 0,0013          | 0,5070        | 251,00       | 0,0075                                 | 0,0110                    | 0,1210       | 0,0120          |
|                  | Buses urbanos GNC                                 | HD Euro I - 91/542/EEC I   | 0,0200         | 0,0200          | 16,500        | 555,00       | 0,0167                                 | N/A                       | 8,4000       | 0,3710          |
|                  |   | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,0100         | 0,0100          | 15,000        | 515,00       | 0,0155                                 | N/A                       | 2,7000       | 0,3130          |
|                  |   | HD Euro III - 2000         | 0,0100         | 0,0100          | 10,000        | 455,00       | 0,0137                                 | N/A                       | 1,0000       | 0,0520          |
|                  |   | EEV                        | 0,0050         | 0,0050          | 2,5000        | 455,00       | 0,0137                                 | N/A                       | 1,0000       | 0,0450          |
|                  | Buses urbanos estándar                            | Convencional               | 0,9090         | 0,9090          | 16,500        | 366,00       | 0,0110                                 | 0,0029                    | 5,7100       | 1,9900          |
|                  |   | HD Euro I - 91/542/EEC I   | 0,4790         | 0,4790          | 10,100        | 301,00       | 0,0090                                 | 0,0029                    | 2,7100       | 0,7060          |
|                  |   | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,2200         | 0,2200          | 10,700        | 301,00       | 0,0090                                 | 0,0029                    | 2,4400       | 0,4630          |
|                  |   | HD Euro III - 2000         | 0,2070         | 0,2070          | 9,3800        | 301,00       | 0,0090                                 | 0,0029                    | 2,6700       | 0,4090          |
|                  |   | HD Euro IV - 2005          | 0,0462         | 0,0462          | 5,4200        | 301,00       | 0,0090                                 | 0,0029                    | 0,2230       | 0,0220          |
|                  |   | HD Euro V - 2008           | 0,0462         | 0,0462          | 3,0900        | 301,00       | 0,0090                                 | 0,0029                    | 0,2230       | 0,0220          |
|                  |   | HD Euro VI                 | 0,0023         | 0,0023          | 0,5970        | 301,00       | 0,0090                                 | 0,0029                    | 0,2230       | 0,0220          |
|                  | Buses Interurbanos estándar ≤ 18 [t] <sup>5</sup> | Convencional               | 0,4700         | 0,4700          | 10,600        | 263,00       | 0,0079                                 | 0,0029                    | 2,2700       | 0,6610          |
|                  |   | HD Euro I - 91/542/EEC I   | 0,3620         | 0,3620          | 8,1000        | 247,00       | 0,0074                                 | 0,0029                    | 1,8500       | 0,6240          |
|                  |   | HD Euro II - 91/542/EEC II | 0,1650         | 0,1650          | 8,9500        | 247,00       | 0,0074                                 | 0,0029                    | 1,6000       | 0,4160          |
|                  |   | HD Euro III - 2000         | 0,1780         | 0,1780          | 7,5100        | 247,00       | 0,0074                                 | 0,0029                    | 1,9100       | 0,3990          |
|                  |   | HD Euro IV - 2005          | 0,0354         | 0,0354          | 4,5100        | 247,00       | 0,0074                                 | 0,0029                    | 0,1500       | 0,0210          |
| HD Euro V - 2008 |   | 0,0354                     | 0,0354         | 2,5700          | 247,00        | 0,0074       | 0,0029                                 | 0,1500                    | 0,0210       |                 |
| HD Euro VI       |   | 0,0018                     | 0,0018         | 0,4960          | 247,00        | 0,0074       | 0,0029                                 | 0,1500                    | 0,0210       |                 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Para buses interurbanos estándar ≥ 18 [t] utilizar los mismos factores de emisión que los ≤ 18 [t].

#### 4.7.5 COMBUSTIÓN DE MAQUINARIA FUERA DE RUTA

La siguiente metodología está basada en dos documentos, en primer lugar, en el “Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling” (EPA, 2002), que aporta con la fórmula general de obtención de emisiones, y en segundo lugar, en el capítulo 1.A.4 Non Road Mobile Machinery (EMEP/EEA, 2019b), que aporta con factores de emisión y parámetros más actualizados que los indicados por la EPA.

El algoritmo de esta metodología está dado por la Ec. 7.

$$E_{i,j} = h \times P_i \times (1 + FD_i) \times FC_i \times TAF_i \times FE_{Base\ i,j} \quad \text{Ec.7}$$

Dónde:

$E_{i,j}$ : Emisiones del contaminante j, de la maquinaria i, en [g/año].

$h_i$ : Horas de utilización de la maquinaria i, en [h/año].

$P_i$ : Potencia del tipo de maquinaria i, en [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.

$FE_{Base}$ : Factor de emisión del contaminante j, de la maquinaria i, en [g/kWh]

A su vez, el Factor de Deterioro (FD), está dado por la Ec. 8.

$$FD = \frac{K}{VU} \times FD_{VU} \quad \text{Ec.8}$$

Dónde:

$K$ : Edad de la maquinaria (entre 0 y la vida útil), en años.

$VU$ : Vida útil de la maquinaria, en años.

$FD_{VU}$ : Factor de deterioro relativo a la vida útil de la maquinaria.

Cabe señalar que cuando la edad de la maquinaria supera el de la vida útil, se debe usar un  $FD$  equivalente al  $FD_{VU}$ .

De esta forma, los parámetros a utilizar están se muestran a continuación:

a)  $FD_{vu}$ :

A continuación, en la Tabla 2.21 se presentan los factores de deterioro relativos a la vida útil, para distintos contaminantes y tipos de tecnología.

Tabla 2.21. Factor de deterioro relativo a la vida útil de maquinaria diésel.

| Tecnología              | MP <sup>2</sup> | NOx   | CO    | COV   |
|-------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| Previo a Stage I        | 0,473           | 0,024 | 0,185 | 0,047 |
| Stage I                 | 0,473           | 0,024 | 0,101 | 0,036 |
| Stage II                | 0,473           | 0,009 | 0,101 | 0,034 |
| Stage IIIA, IIIB, IV, V | 0,473           | 0,008 | 0,151 | 0,027 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

b)  $VU$ :

Por otro lado, los valores estándar de la vida útil de distintas maquinarias pueden observarse en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22. Vida útil de maquinaria.

| Maquinaria                | Vida útil [años] |
|---------------------------|------------------|
| Asfaltadora               | 10               |
| Bomba hormigonera         | 15               |
| Cargador                  | 10               |
| Cargador telescópico      | 14               |
| Compactadora              | 14               |
| Excavadora                | 10               |
| Minicargador              | 14               |
| Motoniveladora            | 10               |
| Montacargas               | 20               |
| Placa vibradora           | 10               |
| Plataforma elevadora      | 10               |
| Retroexcavadora           | 10               |
| Otras maquinarias pesadas | 10               |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

c)  $FC$ :

Para el factor de carga, en base a lo señalado en (Caterpillar, 2017), y considerando un escenario conservador, se debe utilizar un valor de 0,8 para todas las maquinarias fuera de ruta.

d)  $TAF$ :

Para el factor de ajuste transiente, contamos con los valores presentados en la Tabla 2.23. Estos dependen del  $FC$  y de la tecnología de la maquinaria.

Tabla 2.23 Factor de ajuste transiente para maquinaria diésel.

| Nivel tecnológico  | Factor de carga          | MP <sup>5</sup> | NO <sub>x</sub> | CC    | CO   | COV  |
|--------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-------|------|------|
| Stage II y previos | $FC > 0,45$              | 1,23            | 0,95            | 1,01  | 1,53 | 1,05 |
| Stage IIIA         |                          | 1,47            | 1,04            | 1,01  | 1,53 | 1,05 |
| Stage IIIB-V       |                          | 1,00            | 1,00            | 1,00  | 1,00 | 1,00 |
| Stage II y previos | $0,25 \leq FC \leq 0,45$ | 1,6             | 1,025           | 1,095 | 2,05 | 1,67 |
| Stage IIIA         |                          | 1,92            | 1,125           | 1,095 | 2,05 | 1,67 |
| Stage IIIB-V       |                          | 1,00            | 1,00            | 1,00  | 1,00 | 1,00 |
| Stage II y previos | $FC < 0,25$              | 1,97            | 1,10            | 1,18  | 2,57 | 2,29 |
| Stage IIIA         |                          | 2,37            | 1,21            | 1,18  | 2,57 | 2,29 |
| Stage IIIB-V       |                          | 1,00            | 1,00            | 1,00  | 1,00 | 1,00 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

e)  $FE_{Base}$ :

Y finalmente, los factores de emisión base, según potencia, tecnología y contaminante, se presentan en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24. Factores de emisión base para maquinaria fuera de ruta diésel.

| Potencia [kW] | Tecnología   | MP10 $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | MP2,5 $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | NOx $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | CC $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | SOx <sup>7</sup> $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | NH <sub>3</sub> $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | CO $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ | COV $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ |
|---------------|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|--|---------------------------------|----------------------------------|
| P < 8         | 1991-Stage I | 1,600                             | 1,600                              | 11,20                            | 270                             | 0,0081  | 0,002  | 5,000                           | 2,500                            |
|               | Stage V      | 0,400                             | 0,400                              | 6,080                            | 270                             | 0,0081  | 0,002  | 4,800                           | 0,680                            |
| 8 ≤ P < 19    | 1991-Stage I | 1,600                             | 1,600                              | 11,20                            | 270                             | 0,0081  | 0,002  | 5,000                           | 2,500                            |
|               | Stage V      | 0,400                             | 0,400                              | 6,080                            | 270                             | 0,0081  | 0,002  | 3,960                           | 0,680                            |
| 19 ≤ P < 37   | 1991-Stage I | 1,400                             | 1,400                              | 9,800                            | 262                             | 0,0079  | 0,002  | 4,500                           | 1,800                            |
|               | Stage II     | 0,400                             | 0,400                              | 6,500                            | 262                             | 0,0079  | 0,002  | 2,200                           | 0,600                            |
|               | Stage IIIA   | 0,400                             | 0,400                              | 6,080                            | 262                             | 0,0079  | 0,002  | 2,200                           | 0,600                            |
|               | Stage V      | 0,015                             | 0,015                              | 3,810                            | 262                             | 0,0079  | 0,002  | 2,200                           | 0,420                            |
| 37 ≤ P < 56   | 1991-Stage I | 0,800                             | 0,800                              | 11,50                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 4,500                           | 1,500                            |
|               | Stage I      | 0,400                             | 0,400                              | 7,700                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,600                            |
|               | Stage II     | 0,200                             | 0,200                              | 5,500                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,400                            |
|               | Stage IIIA   | 0,200                             | 0,200                              | 3,810                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,400                            |
|               | Stage IIIB   | 0,025                             | 0,025                              | 3,810                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,280                            |
|               | Stage V      | 0,015                             | 0,015                              | 3,810                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,280                            |
| 56 ≤ P < 75   | 1991-Stage I | 0,800                             | 0,800                              | 11,50                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 4,500                           | 1,500                            |
|               | Stage I      | 0,400                             | 0,400                              | 7,700                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,600                            |
|               | Stage II     | 0,200                             | 0,200                              | 5,500                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,400                            |
|               | Stage IIIA   | 0,200                             | 0,200                              | 3,810                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,400                            |
|               | Stage IIIB   | 0,025                             | 0,025                              | 2,970                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,280                            |
|               | Stage IV     | 0,025                             | 0,025                              | 0,400                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,280                            |
|               | Stage V      | 0,015                             | 0,015                              | 0,400                            | 260                             | 0,0078  | 0,002  | 2,200                           | 0,130                            |
| 75 ≤ P < 130  | 1991-Stage I | 0,400                             | 0,400                              | 13,30                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 3,500                           | 1,200                            |
|               | Stage I      | 0,200                             | 0,200                              | 8,100                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 1,500                           | 0,400                            |
|               | Stage II     | 0,200                             | 0,200                              | 5,200                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 1,500                           | 0,300                            |
|               | Stage IIIA   | 0,200                             | 0,200                              | 3,240                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 1,500                           | 0,300                            |
|               | Stage IIIB   | 0,025                             | 0,025                              | 2,970                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |
|               | Stage IV     | 0,025                             | 0,025                              | 0,400                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |
|               | Stage V      | 0,015                             | 0,015                              | 0,400                            | 255                             | 0,0077  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |
| 130 ≤ P < 560 | 1991-Stage I | 0,400                             | 0,400                              | 11,20                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 2,500                           | 0,500                            |
|               | Stage I      | 0,200                             | 0,200                              | 7,600                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,300                            |
|               | Stage II     | 0,100                             | 0,100                              | 5,200                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,300                            |
|               | Stage IIIA   | 0,100                             | 0,100                              | 3,240                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,300                            |
|               | Stage IIIB   | 0,025                             | 0,025                              | 1,800                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |
|               | Stage IV     | 0,025                             | 0,025                              | 0,400                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |
|               | Stage V      | 0,015                             | 0,015                              | 0,400                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |
| 560 < P       | Stage V      | 0,045                             | 0,045                              | 3,500                            | 250                             | 0,0075  | 0,002  | 1,500                           | 0,130                            |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

El nivel de actividad corresponde a las horas anuales de utilización de cada maquinaria usada en el proyecto. Estas horas deben estar justificadas en base al rendimiento de las maquinarias, y al material tratado, y en caso de no ser factible esa justificación, se deben indicar las horas diarias y los días al año de utilización.

Cabe señalar, que para efectos de esta Guía, se considerará la equivalencia entre los estándares de emisiones europeos y estadounidenses, mostrada en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25. Equivalencia en estándares de emisiones

| <b>Estándar Europeo</b> | <b>Estándar EPA</b>   |
|-------------------------|-----------------------|
| <b>Stage I</b>          | <b>Tier 1</b>         |
| <b>Stage II</b>         | <b>Tier 2</b>         |
| <b>Stage IIIA</b>       | <b>Tier 3</b>         |
| <b>Stage IIIB</b>       | <b>Tier 4 Interim</b> |
| <b>Stage IV</b>         | <b>Tier 4 Final</b>   |
| <b>Stage V</b>          | <b>Tier 5</b>         |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

Además, se aclara que la estimación de emisiones del proyecto deberá considerar toda la maquinaria fuera de ruta utilizada en este, sin omitir maquinarias como bombas de hormigón, niveladoras, compactadoras, entre otras. En particular, se deberán considerar las emisiones del camión Mixer al momento de la entrega de hormigón en obra. Para esto, se considerará la potencia necesaria para mantener la betonera del camión en movimiento, más un tiempo de estadía en obra de 7 [min/m<sup>3</sup>] de hormigón (CDT), equivalente a 8,57 [m<sup>3</sup>/h].

Por último, todos los valores de potencias y rendimientos de las maquinarias deberán ser justificados con sus respectivas fichas técnicas. Además, cuando se utilicen maquinarias Stage IIIA/Tier 3 o superiores, debe incluirse el compromiso voluntario de presentar al momento de ejecutar el proyecto, los medios de verificación adecuados a la Superintendencia del Medio Ambiente (contratos de arriendo, facturas de compra, fichas técnicas, etc.), de manera de asegurar que no se utilizará maquinaria más contaminante en los proyectos.

#### 4.7.6 COMBUSTIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS

Los grupos electrógenos corresponden a generadores eléctricos accionados a través de motores de combustión interna. Los factores de emisión asociados estos, mostrados en la Tabla 2.26, dependen del tipo de combustible y de la potencia del motor, los cuales fueron obtenidos de la Tabla 2-13 del (MMA, 2017), que a su vez recopiló los factores del capítulo 3 del AP 42 (EPA, 2000a). Cabe señalar, que los grupos electrógenos utilizados como equipos de respaldo ante fallas eléctricas deberán considerar su potencia “Stand By”.

Tabla 2.26. Factores de emisión grupos electrógenos.

| Combustible  | MP10      | MP2,5     | NOx       | SOx                       | CO        | COV       |
|--|-----------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|
| Gasolina [kg/kg comb.]<br>potencia menor a 600 HP<br>o 447 kW <sup>(a)</sup>                     | 0,0020150 | 0,0020150 | 0,0328449 | 0,0016926                 | 0,0199487 | 0,0610552 |
| Diésel, [kg/kg comb.]<br>potencia menor a 600HP<br>o 447 kW <sup>(a)</sup>                       | 0,0060783 | 0,0060783 | 0,08647   | 0,00568616                | 0,0186271 | 0,00706   |
| Diésel, [kg/kg comb.]<br>potencia mayor a 600HP<br>o 447 kW <sup>(b)</sup>                       | 0,0011235 | 0,0009392 | 0,06274   | 0,0198 x S =<br>0,0000297 | 0,0166663 | 0,0016059 |
| Gas natural [kg/m <sup>3</sup><br>comb.] motor a 2<br>tiempos con mezcla<br>pobre <sup>(c)</sup> | 0,0006452 | 0,0006452 | 0,05327   | 0,00000988                | 0,0064860 | 0,0020164 |
| Gas natural [kg/m <sup>3</sup><br>comb.] motor a 4<br>tiempos con mezcla<br>pobre <sup>(c)</sup> | 0,0000013 | 0,0000013 | 0,06856   | 0,00000988                | 0,0053266 | 0,0019828 |
| Gas natural [kg/m <sup>3</sup><br>comb.] motor a 4<br>tiempos con mezcla<br>rica <sup>(c)</sup>  | 0,0001596 | 0,0001596 | 0,03713   | 0,00000988                | 0,0625075 | 0,0004974 |

Fuente: Guía para la estimación de emisiones en la RM.

## **V CALCULADORA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

### **5.1 DESCRIPCIÓN.**

Como se mencionó en capítulos anteriores, la calculadora de estimación de emisiones atmosféricas está basada en la Guía Para La Estimación De Emisiones Atmosféricas En La Región Metropolitana, en que las fórmulas utilizadas, tablas y factores de emisión fueron sacados de esta. El detalle de la base para el cálculo de emisiones de las diferentes actividades se puede ver en el capítulo IV de este trabajo.

La Calculadora fue realizada con la herramienta tecnológica Microsoft Excel, programa desarrollado por Microsoft y pertenece a la suite de Office que también incluye programas como Word, PowerPoint, entre otros. Excel es una hoja de cálculo que nos permite manipular datos numéricos y de texto en tablas formadas por la unión de filas y columnas, por ende, la hoja de cálculo de Excel facilita en gran medida, trabajar con información que podamos analizar, generar reportes mediante herramientas de gráficos y las tablas dinámicas y de esta manera se pudo diseñar y realizar la Calculadora de Estimación de Emisiones.

La calculadora se compone de 6 secciones más el menú principal y la Dashboard, en que se muestra el resumen de los resultados obtenidos. Adicionalmente existen otras pestañas que no deben ser intervenidas por el usuario, ya que estas contienen las fórmulas, datos e información relevante para el correcto funcionamiento del programa.

Las Secciones de la calculadora son:

0. Menú Principal.
1. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Demolición
2. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Movimiento De Tierras
3. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Resuspensión De Tránsito Vehicular
4. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Combustión De Vehículos
5. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Combustión De Maquinarias
6. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Grupos Electrógenos
7. Dashboard

En las siguientes paginas se describen las secciones que componen a la calculadora.

## 5.2 MENÚ PRINCIPAL

El Menú principal de la Calculadora, proporciona acceso directo a las diferentes secciones o actividades del cálculo de emisiones. Mediante un clic en algunos de los cuadros o imágenes se puede acceder a la actividad seleccionada.



Fuente: elaboración propia.  
Figura 3.1 Menú Principal

### 5.3 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DEMOLICIÓN

Para estimar las emisiones de demolición de construcciones emplazadas en los sitios de cada proyecto (edificios, casas, pavimento, etc.), se necesitan de 3 datos esenciales para que la calculadora pueda realizar los cálculos.

Primero se debe seleccionar el tipo de demolición a realizar (casas, departamentos, construcciones no residenciales y construcciones viales), luego se debe ingresar cantidad de superficie a demoler o metros cuadrados, y posteriormente se ingresa la duración estimada, en meses, del tiempo que tomara en ejecutarse esta actividad.

Los resultados de esta actividad serán calculados automáticamente y se mostrarán de inmediato en el recuadro de color verde la derecha de la pantalla. La unidad de medida son Toneladas por año.

CALCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DEMOLICIÓN

1. Seleccione el tipo de demolición

2. Ingrese el área a demoler, en m<sup>2</sup>

3. Indique la duración estimada de demolición, en meses

LIMPIAR

**TOTAL EMISIONES POR DEMOLICIÓN**

MP10 = Ton/año

MP2,5 = Ton/año

Fuente: elaboración propia

Figura 3.2 Cálculo De Estimación De Emisiones Por Demolición

## 5.4 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR MOVIMIENTO DE TIERRAS

Para esta sección fueron consideradas las actividades de Escarpe, Excavaciones, carguío y volteo de material.

En esta pantalla solo se piden dos datos, el primero de ellos es la cantidad de m<sup>2</sup> a escarpar y el segundo, la superficie en m<sup>2</sup> a excavar. Con estos dos valores es suficiente para que la calculadora realice los cálculos de las 3 actividades mencionadas en el párrafo anterior.

Los resultados para cada actividad son calculados automáticamente y mostrados por separado en cada bloque de color verde claro de la actividad. Adicionalmente en el recuadro verde oscuro se muestra el resultado total de las emisiones por movimiento de tierras en toneladas por año.

**CALCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS**

**ESCARPE**

1. Ingrese la superficie a escarpar, en m<sup>2</sup>

LAS EMISIONES POR ESCARPE SON:

MP10 = 0,0000 Ton/año

MP2,5 = 0,0000 Ton/año

**EXCAVACIONES**

1. Ingrese la superficie a excavar, en m<sup>2</sup>

LAS EMISIONES POR EXCAVACIONES SON:

MP10 = 0,000 Ton/año

MP2,5 = 0,000 Ton/año

**CARGUÍO Y VOLTEO DE MATERIAL**

1. Corresponden a las emisiones producidas al momento de cargar o descargar el material escarpado, excavado.

LAS EMISIONES POR CARGUÍO Y VOLTEO SON:

MP10 = 0,0000 Ton/año

MP2,5 = 0,0000 Ton/año

**TOTAL EMISIONES POR MOVIMIENTOS DE TIERRA**

MP10 = 0,0000 Ton/año

MP2,5 = 0,0000 Ton/año

LIMPIAR

Menu

Fuente: elaboración propia

Figura 3.3. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Movimiento De Tierras

## 5.5 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR RESUSPENSIÓN DE TRÁNSITO VEHICULAR

Esta sección de la calculadora es una de las principales, esto por la cantidad e importancia de los datos ingresados que se solicitan, los cuales son 9 datos. De los nueve datos, 7 son seleccionables de listas desplegables y tan solo dos son datos numéricos que se ingresan manualmente (distancia del tramo y número de viajes).

El primer ítem corresponde a la fase del proyecto, en esta se puede seleccionar si los datos a ingresar corresponden a la etapa de construcción, operación o cierre.

El ítem de actividad se puede seleccionar una actividad de un listado característico que incluyen los proyectos. Como esta sección es para el cálculo de emisiones que se genera por la resuspensión de material particulado en el tránsito vehicular, el listado de actividades mostradas corresponde a transporte de diferentes cargas o movilización de personas. En esta versión de la calculadora, la lista es acotada, pudiendo mejorar y ampliarse en futuras versiones.

El siguiente ítem es para seleccionar la categoría a la cual pertenece el vehículo que realiza la actividad anterior, pudiendo ser: Vehículos de pasajeros, comerciales, pesados o buses.

La subcategoría es de acuerdo a lo seleccionado en el ítem anterior y está asociada al tipo de motor que tiene el vehículo seleccionado para la actividad ingresada.

La tecnología, también está asociada al tipo de vehículo, así como también a la subcategoría seleccionada, y corresponde al tipo de tecnología utilizada en el diseño y funcionamiento del motor del vehículo.

Luego podemos seleccionar el tipo de camino por donde transitará el o los vehículos ingresados, si es un camino pavimentado o no pavimentado. Por el momento, en esta versión de la calculadora, la opción de cálculo de camino no pavimentado no está disponible.

Las siguientes dos líneas son para ingresar distancia del tramo de recorrer por el vehículo en kilómetros y la cantidad de viajes a realizar en el proyecto para este tramo.

Por lo tanto, una vez ingresados todos los datos anteriormente mencionados se presiona el botón “ingresar”, el cual guardará los datos y podremos ingresar un nuevo conjunto de datos correspondiente a la siguiente actividad hasta un número limitado a 100 actividades. Existe también el botón “limpiar” que borra los campos o ítems, para ingresar un nuevo conjunto de datos.

Relacionado con el tipo de camino, existe el ítem de flujo vehicular, donde debe seleccionar el rango de vehículos que transita por esta vía o camino y se selecciona una sola vez para todos los caminos y actividades.

Adicionalmente está disponible el botón “borrar datos ingresados” el cual eliminará todos los datos ingresados y dejará en blanco los resultados para un nuevo cálculo.

Una vez ingresados todos los datos de las actividades requeridas se presiona el botón “calcular” el cual desplegara los resultados por fase y actividad en la tabla “Total Emisiones por resuspención de tránsito vehicular”, la es interactiva con el usuario pudiendo cambiar los resultados mostrados con los botones del recuadro “Tipo de Camino” y “Fase”. A su vez se mostrará el total de emisiones de material particulado de todas las actividades ingresadas en el recuadro inferior verde.

**CALCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR RESUSPENSIÓN DE TRANSITO VEHICULAR**

FASE DEL PROYECTO

ACTIVIDAD

CATEGORIA DE VEHÍCULO

SUBCATEGORIA

TECNOLOGIA

TIPO DE CAMINO

DISTANCIA DEL TRAMO  KMS

NÚMERO DE VIAJES

SELECCIONE FLUJO DE VEHÍCULOS POR CAMINOS

**CALCULAR**

**TOTAL EMISIONES POR RESUSPENSIÓN DE TRANSITO VEHICULAR**

| FASE         | MP 10          | MP 2,5         |
|--------------|----------------|----------------|
| Operación    | 0,0000 Ton/año | 0,0000 Ton/año |
| <b>Total</b> | <b>0,0000</b>  | <b>0,0000</b>  |

TIPO DE CAMINO

Pavimentado

No pavimentado

FASE

Cierre

Construcción

Operación

LIMPIAR    INGRESAR

BORRAR DATOS INGRESADOS

**TOTAL MATERIAL PARTICULADO** → MP 10    MP 2,5

0,0000    0,0000    Ton/año

Fuente: elaboración propia

Figura 3.4. Cálculo De Estimación De Emisiones Por Resuspención De Tránsito Vehicular

## 5.6 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS

Para el cálculo de Estimación de Emisiones por Combustión de Vehículos, no es necesario ingresar ningún dato nuevo, ya que este utiliza la base de datos ingresados en el cálculo de Estimación De Emisiones Por Resuspensión De Tránsito Vehicular, por lo tanto, basta con presionar el botón “calcular” y automáticamente se desplegará una tabla con los resultados de los contaminantes, agrupados por fase y actividad.

| FASES | DISTANCIA(kms) | MP 10 | MP 2,5 | Ton/año | Nox | Sox | CO |
|-------|----------------|-------|--------|---------|-----|-----|----|
|-------|----------------|-------|--------|---------|-----|-----|----|

Fuente: elaboración propia

Figura 3.5 Cálculo De Estimación De Emisiones Por Combustión De Vehículos

## 5.7 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE MAQUINARIAS

En esta sección de la calculadora debemos seleccionar 4 datos desde listas desplegables (Fase, Tipo de maquinaria, Rango de potencia y tecnología del motor de la maquinaria), los otros 4 datos son valores numéricos que se deben ingresar manualmente.

El ítem de fase, al igual que en secciones anteriores puede ser: construcción, operación o cierre, mientras que en el ítem maquinarias, es posible seleccionar entre: asfáltadora, bomba hormigonera, cargador, cargador telescópico, compactadora, excavadora, motoniveladora, montacargas, placa vibradora, plataforma elevadora, retroexcavadora y otras maquinarias pesadas. Para ellas, en los siguientes ítems se debe seleccionar su rango de potencia y tecnología del motor. Además de seleccionar el rango de potencia se debe ingresar específicamente la potencia de la maquinaria, su edad, las horas de uso diario y tiempo de utilización.

Se pueden ingresar diferentes tipos de maquinarias de una en una, presionando el botón “ingresar” después de completar todos los campos para cada maquinaria utilizada en el proyecto.

Terminado de ingresar las distintas maquinarias utilizadas en el proyecto, debemos presionar el botón “calcular” y se mostrará automáticamente una tabla resumen de la cantidad de contaminantes por cada actividad y fase.

| FASES | MP 10 | MP 2,5 | Nox | CO | COV |
|-------|-------|--------|-----|----|-----|
|-------|-------|--------|-----|----|-----|

Fuente: elaboración propia

Figura3.6 Cálculo De Estimación De Emisiones Por Combustión De Maquinarias

## 5.8 CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR GRUPOS ELECTRÓGENOS

Con un poco de menos datos que ingresar que la sección anterior, para el cálculo de estimación de emisiones por grupos electrógenos, tenemos que ingresar 6 datos, la mitad de ellos seleccionables de listas despegables, los cuales son: la Fase, Combustible utilizado por el grupo electrógeno, y rango de potencia del motor. También se debe ingresar la potencia específica del motor, el rendimiento de combustible y las horas anuales de funcionamiento que tendrá el grupo electrógeno.

Al igual que las otras secciones es posible, ingresar más de un grupo electrógeno, presionando el botón “ingresar” después de completar todos los campos para cada grupo.

Posteriormente podemos presionar el botón “calcular” y se desplegará una tabla con el cálculo de emisión de cada contaminante emitido por el motor de grupo electrógeno.

The screenshot shows a software interface titled "CALCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR GRUPOS ELECTROGENOS". It features several input fields on the left: "FASE DEL PROYECTO", "GRUPO ELECTROGENO", "COMBUSTIBLE", "POTENCIA [kw]", "RANGO DE POTENCIA", "RENDIMIENTO [litros/hora]", and "HORAS DE FUNCIONAMIENTO [h/año]". A "CALCULAR" button is located at the top right. Below the inputs are buttons for "LIMPIAR", "INGRESAR", and "BORRAR DATOS INGRESADOS". A table displays the results of the calculation:

| FASE  | MP 10 | MP 2,5 | NOx | SOx | CO | COV |
|-------|-------|--------|-----|-----|----|-----|
| TOTAL |       |        |     |     |    |     |

Fuente: elaboración propia

Figura 3.7 Cálculo De Estimación De Emisiones Por Grupos Electrógenos

## 5.9 RESUMEN DEL CÁLCULO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.

### 5.9.1 DASHBOARD

El resumen de los cálculos realizados por la calculadora se presenta en la siguiente imagen, en ella podemos ver distintos sectores. Esta funciona a modo de dashboard o pizarra interactiva, donde los dos cuadros blancos que tenemos en la parte superior izquierda tienen la finalidad de cuadros de mando, en ellos puedo seleccionar los tipos de contaminantes y/o actividades que desee mostrar en la tabla de actividades y los dos gráficos de los extremos (emisiones por actividad, contaminante).

El gráfico de emisiones por actividad muestra las emisiones del contaminante seleccionado para todas las actividades, en forma de barras y sus valores. Mientras que el gráfico de anillos del extremo derecho muestra el contaminante para todas las actividades, mostrando la contribución de cada contaminante por actividad en porcentajes.

Por otro lado, el gráfico circular del centro nos muestra la cantidad total de emisiones de cada contaminante por actividad, mostrado su valor y porcentaje.

Además, se tiene el cuadro verde del extremo superior derecho, el que muestra el total de emisiones equivalentes por contaminante.

Para mostrar los resultados obtenidos luego de ingresar todos los datos solicitados en las secciones anteriores, se debe presionar el botón “actualizar” y de esta manera se desplegarán los resultados en los gráficos, tabla y cuadro.



Fuente: elaboración propia

Figura 3.8 Resumen del cálculo de estimación de emisiones (Dashboard)

## **VI ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE PROYECTO EJEMPLO.**

Para probar el funcionamiento de la calculadora, se realizan los cálculos en base a un proyecto con valores conocidos, para permitir así la comparación y verificar el correcto funcionamiento.

El proyecto en cuestión se tiene por nombre “Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Curepto”, cuya descripción se puede ver a continuación.

### **6.1 CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO**

La estimación de emisiones corresponde al proyecto de mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Curepto y tiene como objetivo ampliar la capacidad de la PTAS considerando la demanda proyectada al año 2034, la que se presume en una población servida de 4.894 habitantes. Para ello es necesaria la modificación del Proyecto "Construcción de Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas de Curepto".

El Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas de Curepto, se ubica en el distrito del mismo nombre, comuna de Curepto, provincia de Talca, VII Región.

Las modificaciones a la PTAS consisten, principalmente, en aumentar la capacidad de tratamiento del reactor biológico a través de la transformación del actual espesador/digestor de lodos en reactor, el actual sedimentador se transformará en digestor de lodos, para lo cual se construirá un nuevo sedimentador el que contará con una cámara de lodos RAS-WAS y una cámara de espuma. Esta nueva configuración permitirá que el efluente tratado continúe cumpliendo con los límites establecidos en la Tabla N°1 del D.S. N°90/2000 MINSEGPRES.

El Proyecto involucrará durante la fase de construcción, la demolición de estructuras existentes, escarpe y excavaciones con el fin de albergar nuevas unidades y tendrá una duración de 6 meses. La ampliación complementará al funcionamiento actual de la planta, contemplando la incorporación de un grupo electrógeno, el cual se utilizará ante eventos de cortes de energía.

### **6.2 METODOLOGÍA**

La estimación de emisiones del proyecto se realizó aplicando los factores de emisión y fórmulas propuestas en la “Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana” (junio, 2020) de la SEREMI de Medio Ambiente Región Metropolitana.

Para la realización de los cálculos, se identificaron las actividades generadoras de emisiones atmosféricas para la fase de construcción, operación del proyecto, luego se realizó la estimación de emisiones en base a factores de emisión y los niveles de actividad indicados, utilizando una planilla Excel. Posteriormente se ingresan los datos del proyecto a la calculadora realizada para calcular nuevamente las emisiones atmosféricas de las actividades incluidas en el proyecto.

### 6.3 ACTIVIDADES GENERADORAS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Las actividades consideradas para el cálculo de emisiones en la fase de construcción corresponden a: demolición, escarpe, movimiento de tierra (excavaciones), transferencia de material (carguío), traslado de residuos e insumos por caminos pavimentados y la operación de maquinaria.

En tanto las emisiones consideradas durante la fase operación corresponden al tránsito de vehículos, incluyéndose emisiones a nivel de combustión y resuspensión de material particulado por vías pavimentadas, y a la utilización del grupo electrógeno ante eventos de corte de energía.

No se consideran actividades en la fase de abandono, ya que el proyecto entrega un servicio básico para la población atendida, el cual no debiera ser interrumpido. Por ello, el titular llevará a cabo todas las modificaciones necesarias para aumentar su vida útil, no estando previsto el cese de la operación de la planta, ni su abandono. Se espera mantener el servicio mientras exista la localidad de Curepto y, por lo tanto, el plazo de utilización es indefinido.

### 6.4 RESULTADOS

En esta sección se presentan los factores y parámetros considerados para la estimación de emisiones de material particulado y gases de combustión generados durante la fase de construcción y operación del Proyecto “Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Curepto”, para las actividades contempladas en la calculadora de estimación de emisiones.

#### 6.4.1 Demolición

La demolición de las estructuras existentes se realizará con el fin de albergar las nuevas unidades. Se requerirá demoler un área de 800 m<sup>2</sup>. El nivel de actividad se define como los metros cuadrados construidos que serán demolidos por año, producto de la ejecución del proyecto.

Las emisiones estimadas para la actividad de demolición se presentan en la tabla 4.1

**Tabla 4.1** Cálculo de nivel de emisiones por demolición.

| Factor de emisión<br>(kg/m <sup>2</sup> *año) | Contaminante | Nivel de Actividad<br>(m <sup>2</sup> *año) | Emisión<br>(Ton/año) |
|---|--------------|---|----------------------|
| <b>1</b>                                      | MP10         | 133   | 0,133                |
| <b>0,1</b>                                    | MP2,5        | 133   | 0,013                |

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos por la calculadora se muestran en la siguiente imagen y coinciden con los resultados obtenidos mediante calculo normal.

Fuente: elaboración propia

Figura 4.1 Resultados de calculadora para emisiones por demolición

#### 6.4.2 Escarpe

La actividad se realizará para preparar el terreno que se utilizará en la construcción. Se requerirá de un escarpe de 1000 m<sup>2</sup>. El nivel de actividad se determina según la distancia que recorre el cargador por el área a escarpar. Por defecto se considera un rendimiento de 3,57 km/ha, por lo tanto, se presume un nivel de actividad de Las emisiones estimadas que se presentan en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Cálculo de nivel de emisiones por escarpe.

| Factor de emisión<br>(kg/km) | Contaminante | Nivel de Actividad<br>(km) | Emisión<br>(Ton/año) |
|------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------|
| <b>5,7</b>                   | MP10         | 0,357                      | 0,002                |
| <b>0,855</b>                 | MP2,5        | 0,357                      | 0,000305             |

Fuente: elaboración propia

### 6.4.3 Excavaciones

Durante la fase de construcción, se considera la excavación de 2500 m<sup>3</sup> de material. Teniendo en cuenta un rendimiento de la maquinaria de 54,27 m<sup>3</sup>/h. Las emisiones estimadas se presentan en la tabla 4.3Tabla.

**Tabla 4.3** Emisiones por excavaciones.

| Factor de emisión (kg/h) | Contaminante | Nivel de Actividad (h) | Emisión (Ton/año) |
|--------------------------|--------------|------------------------|-------------------|
| <b>0,61</b>              | MP10         | 46,07                  | 0,028             |
| <b>0,31</b>              | MP2,5        |                        | 0,014             |

Fuente: elaboración propia

### 6.4.4 Carguío y volteo de material

Una vez removido, se considera la actividad de carga y de descarga del material. Teniendo en cuenta una densidad de 2,2 ton/m<sup>3</sup> y un movimiento de 2800 m<sup>3</sup> (considerando la suma de escarpe y excavaciones), se estima un nivel de actividad de 6.160 ton, respectivamente. Las emisiones estimadas se presentan en la tabla 4.4

**Tabla 4.4.** Emisiones por carguío y volteo de material en la fase de construcción.

| Factor de emisión (kg/ton) | Contaminante | Nivel de Actividad (ton) | Emisión (Ton/año) |
|----------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|
| <b>0,000313</b>            | MP10         | 6.160                    | 0,0019            |
| <b>0,000047</b>            | MP2,5        |                          | 0,000292          |

Fuente: elaboración propia

En la siguiente imagen correspondiente al cálculo de estimación de emisiones realizado mediante la calculadora, se puede apreciar que los valores obtenidos son los mismos mencionados en las tablas anteriores, además se muestra el total de estas 3 actividades (escarpe, excavaciones y carguío y volteo de material) correspondiente a las emisiones por movimientos de tierra.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.2 Resultados de calculadora para movimiento de tierras

#### 6.4.5 Resuspensión De Tránsito Vehicular

Durante las fases de construcción y operación, se consideran el transporte de equipos, materiales y personal por vías pavimentadas, transitando los vehículos por un tramo de 75,6 km desde Talca hacia la PTAS de Curepto. La misma condición sucede para el traslado de los residuos, pero esta es a través de un tramo de 109 km desde la PTAS de Curepto hacia el relleno sanitario Camarico (Ecomaule). A continuación, se indican las distancias recorridas por cada actividad, considerando los viajes ida y vuelta, para ambas fases del proyecto.

**Tabla 4.5** Número de viajes y distancia promedio a recorrer por vías pavimentadas durante la fase de construcción.

| Actividad           | Tipo de vehículo | Número de viajes | Distancia tramo (km) | Distancia total (km) (*) |
|---------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------------------|
| Transporte hormigón | Camión mixer     | 5                | 75,6                 | 756                      |
| Transporte áridos   | Camión Tolva     | 100              | 75,6                 | 15.120                   |
| Transporte Residuos | Camión Tolva     | 26               | 109                  | 5.668                    |
| Transporte Personal | Camioneta        | 132              | 75,6                 | 19.958                   |

Fuente: elaboración propia

**Tabla 4.61.** Número de viajes y distancia promedio a recorrer por vías pavimentadas durante la fase de operación.

| Transporte                     | Frecuencia<br>(N° viajes/año) | Distancia tramo (km) | Distancia total<br>(km) (*) |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Transporte gas cloro           | 24                            | 75,6                 | 3.629                       |
| Transporte Lodos               | 48                            | 109                  | 10.464                      |
| Transporte residuos peligrosos | 2                             | 336                  | 1.344                       |
| Transporte Personal            | 264                           | 1,6                  | 845                         |

Fuente: elaboración propia

(\*) Distancia considera ida y vuelta.

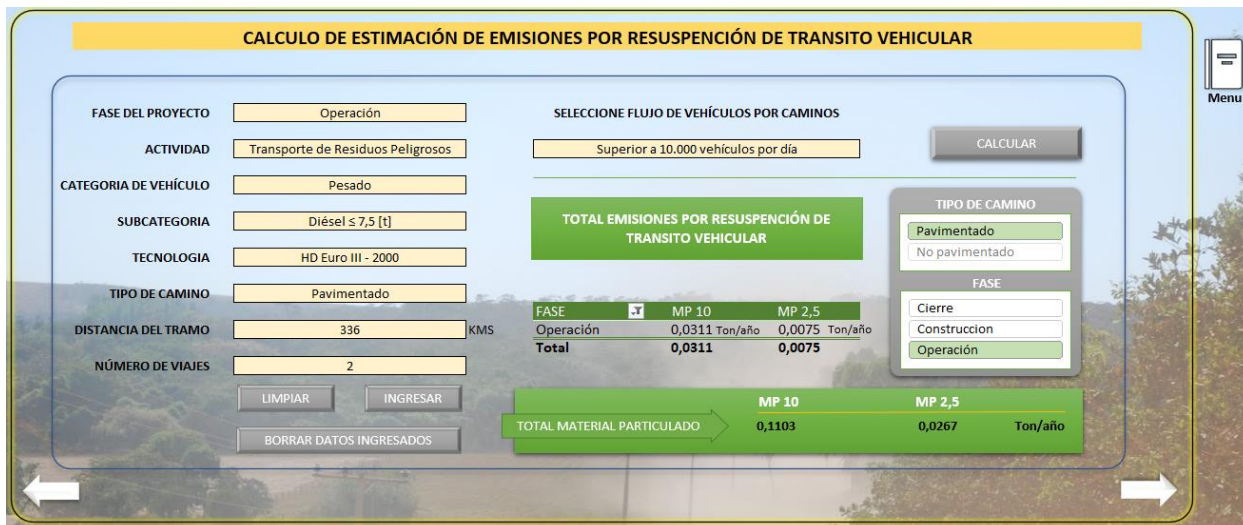
A continuación, se presenta el cálculo del nivel de emisiones producto del tránsito de vehículos en caminos pavimentados durante la fase de construcción y operación del Proyecto.

**Tabla 4.7.** Emisiones por tránsito en caminos pavimentados del proyecto.

| Factor de emisión<br>(g/km) | Contaminante | Nivel de<br>Actividad (km) | Emisión<br>(Ton/año) |
|-----------------------------|--------------|----------------------------|----------------------|
| 1,9                         | MP10         | 57.784                     | 0,1103               |
| 0,5                         | MP2,5        |                            | 0,027                |

Fuente: elaboración propia

Luego de ingresar los datos de las tablas 4.5 y 4.6, además de los otros datos necesarios para el cálculo, obtenemos los resultados mostrados en la siguiente imagen, los cuales son equivalentes a los obtenidos en la tabla 4.7.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.3 Resultados de calculadora para Resuspensión de Tránsito Vehicular

#### 6.4.6 Combustión de vehículos

Para la estimación de emisiones de gases de combustión por funcionamiento de vehículos, se consideraron los siguientes factores de emisión según la actividad de transporte:

- Vehículos Pesados Diesel <7,5 [t] para transporte en camiones.
- Vehículos livianos comerciales Diesel <3,5 [t] para transporte de personal.

A continuación, se presentan los factores de emisión utilizados

**Tabla 4.8.** Factores de Emisión determinados para vehículos.

| Vehículo*  | Factores de emisión (g/km) |        |      |        |       |
|--|----------------------------|--------|------|--------|-------|
|  | MP10                       | MP2,5  | NOx  | SOx    | CO    |
| <b>Vehículo Pesado Diesel &lt;7,5 [t]</b>            | 0,0566                     | 0,0566 | 2,63 | 0,003  | 0,584 |
| <b>Vehículos livianos comerciales Diesel &lt;3,5</b> | 0,0783                     | 0,0783 | 1,03 | 0,0024 | 0,375 |

Fuente: elaboración propia

\*Consideran Tecnología Euro 3

La tabla 4.9 presenta el nivel de actividad de los vehículos durante la fase de construcción y operación, en función de los kilómetros totales estimados a recorrer. A continuación, se presenta la estimación de emisiones de gases de combustión calculada a partir de dicha actividad.

**Tabla 4.9** Emisión estimada para motores de vehículos durante ambas fases del proyecto.

| Fase                | Actividad            | Distancia<br>(km) | Ton/año       |               |                 |                 |               |
|---------------------|----------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                     |                      |                   | MP10          | MP2.5         | NO <sub>x</sub> | SO <sub>x</sub> | CO            |
| <b>Operación</b>    | Transporte de gas    | 3628,8            | 0,0002        | 0,0002        | 0,0095          | 0,0000          | 0,0021        |
|                     | Transporte de lodos  | 10464             | 0,0006        | 0,0006        | 0,0275          | 0,0000          | 0,0061        |
|                     | Transporte Residuos  | 1344              | 0,0001        | 0,0001        | 0,0035          | 0,0000          | 0,0008        |
|                     | Transporte Vehículos | 845               | 0,0001        | 0,0001        | 0,0009          | 0,0000          | 0,0004        |
|                     | Subtotal             | 16282             | 0,0009        | 0,0009        | 0,0415          | 0,0000          | 0,0094        |
| <b>Construcción</b> | Transporte Hormigón  | 756               | 0,0000        | 0,0000        | 0,0020          | 0,0000          | 0,0004        |
|                     | Transporte Residuos  | 5668              | 0,0003        | 0,0003        | 0,0149          | 0,0000          | 0,0033        |
|                     | Transporte de áridos | 15120             | 0,0009        | 0,0009        | 0,0398          | 0,0000          | 0,0088        |
|                     | Transporte Vehículos | 19958             | 0,0016        | 0,0016        | 0,0206          | 0,0000          | 0,0094        |
|                     | Subtotal             | 41502             | <b>0,0028</b> | <b>0,0028</b> | <b>0,0772</b>   | <b>0,0001</b>   | <b>0,0220</b> |
|                     | Total                | 57784             | 0,0037        | 0,0037        | 0,1187          | 0,0002          | 0,0314        |

Fuente: elaboración propia

En esta sección de la calculadora en que no es necesario ingresar más datos que los ingresados en la sección de resuspension de tránsito vehicular, los resultados mostrados después de presionar el botón “calcular” se muestran a continuación, destacando que nuevamente los resultados obtenidos mediante la calculadora realizada coinciden perfectamente con los resultados calculados de manera normal.

| FASES                             | DISTANCIA(kms) | Ton/año        |                |                |                    |                |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|
|                                   |                | MP 10          | MP 2,5         | Nox            | Sox                | CO             |
| <b>Operación</b>                  | <b>16282</b>   | <b>0,00094</b> | <b>0,00094</b> | <b>0,04147</b> | <b>4,83379E-05</b> | <b>0,00941</b> |
| Transporte de Vehículos Livianos  | 845            | 0,00007        | 0,00007        | 0,00087        | 2,02752E-06        | 0,00040        |
| Transporte de Residuos Peligrosos | 1344           | 0,00008        | 0,00008        | 0,00353        | 0,000004032        | 0,00078        |
| Transporte de Lodos               | 10464          | 0,00059        | 0,00059        | 0,02752        | 0,000031392        | 0,00611        |
| Transporte de Gases               | 3629           | 0,00021        | 0,00021        | 0,00954        | 1,08864E-05        | 0,00212        |
| <b>Construcción</b>               | <b>41502</b>   | <b>0,00278</b> | <b>0,00278</b> | <b>0,07722</b> | <b>0,000112532</b> | <b>0,02202</b> |
| Transporte de Aridos              | 15120          | 0,00086        | 0,00086        | 0,03977        | 0,00004536         | 0,00883        |
| Transporte de Hormigon            | 756            | 0,00004        | 0,00004        | 0,00199        | 0,000002268        | 0,00044        |
| Transporte de Residuos            | 5668           | 0,00032        | 0,00032        | 0,01491        | 0,000017004        | 0,00331        |
| Transporte de Vehículos Livianos  | 19958          | 0,00156        | 0,00156        | 0,02056        | 4,79002E-05        | 0,00944        |
| <b>TOTAL</b>                      | <b>57784</b>   | <b>0,00372</b> | <b>0,00372</b> | <b>0,11869</b> | <b>0,00016087</b>  | <b>0,03144</b> |

Fuente: elaboración propia

Figura 4.3 Resultados de calculadora para Combustión de Vehículos.

#### 6.4.7 Combustión Maquinaria

Para el cálculo de emisiones de material particulado y gases de combustión provenientes de las maquinarias, se consideraron los siguientes tiempos de operación.

**Tabla 4.10** Tiempos de operación maquinaria de la fase construcción.

| Maquinaria             | Cantidad | Operación (h/año) | Potencia (kW) |
|------------------------|----------|-------------------|---------------|
| <b>Retroexcavadora</b> | 1        | 720               | 200           |

Fuente: elaboración propia

La tabla 4.11 muestra los factores de emisión para los contaminantes CO, COV, NOx y MP provenientes de los tubos de escape de las maquinarias utilizadas en la construcción del proyecto, de acuerdo a la potencia declarada de la maquinaria.

**Tabla 4.11** Factores de emisión de gases maquinaria de la fase construcción.

| Potencia (kW)  | Factor emisión (g/kW-h) |       |     |     |     |
|----------------|-------------------------|-------|-----|-----|-----|
|                | MP10                    | MP2,5 | NOx | CO  | COV |
| <b>130-560</b> | 0,1                     | 0,1   | 5,2 | 1,5 | 0,3 |

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan las emisiones generadas por la operación de la maquinaria utilizada en el proyecto.

**Tabla 4.12** Emisión de gases por operación de maquinaria en la fase de construcción.

| Vehículo               | Cantidad | Potencia (kW) | Emisiones (Ton/año) |       |       |       |       |
|------------------------|----------|---------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|                        |          |               | MP10                | MP2,5 | NOx   | CO    | COV   |
| <b>Retroexcavadora</b> | 1        | 200           | 0,018               | 0,018 | 0,572 | 0,278 | 0,037 |

Fuente: elaboración propia

El resultado de estas emisiones generadas por la excavadora, pero ahora calculada mediante la calculadora se puede ver en la siguiente imagen y como se puede apreciar son las mismas para cada contaminante.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.4 Resultados de calculadora para Combustión de Maquinaria.

#### 6.4.8 Grupo Electrónico

Durante la fase de operación, en el que opera del grupo electrónico de 150 kW, se consideran los factores de emisión correspondientes a la categoría de potencia hasta 600 HP. Los factores de emisión para cada categoría se detallan en la tabla 4.13.

**Tabla 4.13.** Factores de emisión asociados a emisión de gases de combustión y material particulado de grupos electrónicos.

| Tipo de generador            | Factor de emisión (kg/kW-h) |                      |                       |                      |                       |                      |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|                              | MP 10                       | MP 2,5               | NOx                   | SOx                  | CO                    | COV                  |
| <b>Diesel menor a 600 HP</b> | $6,07 \cdot 10^{-3}$        | $6,07 \cdot 10^{-3}$ | $86,47 \cdot 10^{-3}$ | $5,68 \cdot 10^{-3}$ | $18,62 \cdot 10^{-3}$ | $7,06 \cdot 10^{-3}$ |

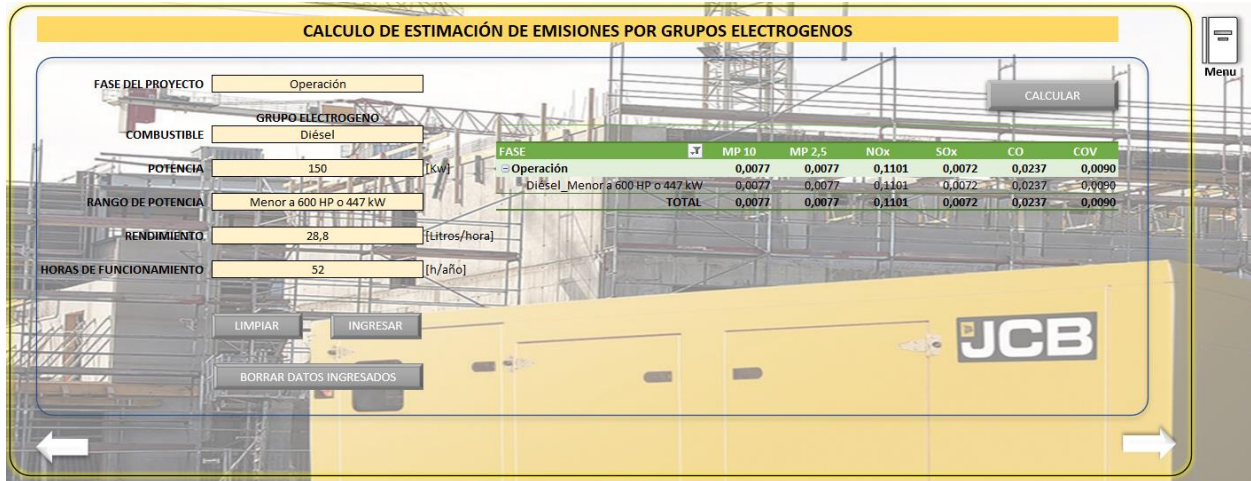
Fuente: elaboración propia

Para el grupo generador se tomó como base las condiciones operacionales al año 2019, siendo la utilización promedio del equipo de 52 horas al año y considerando un rendimiento de 28,8 l/h, tenemos un consumo de combustible de 1497,6 l/año. Por lo tanto, el nivel de actividad corresponde a la densidad del diésel (0,85 kg/l) por el consumo de combustible. En función de estos antecedentes se presenta el nivel de actividad total del grupo electrónico y las emisiones estimadas mediante calculo normal y con la calculadora de estimación de emisiones en la siguiente imagen.

**Tabla 4.14.** Cálculo de emisiones del grupo electrógeno.

| Tipo de generador | Nivel de Actividad | Emisión (Ton/año) |        |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                    | MP 10             | MP 2,5 | NOx   | SOx   | CO    | COV   |
| (150 kW)          | 1272,96            | 0,008             | 0,008  | 0,110 | 0,007 | 0,024 | 0,009 |

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 4.5 Resultados de calculadora para Grupos Electrógenos.

## 6.5 RESUMEN DE CALCULOS.

La tabla 4.15 presenta el resumen de las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COV), estimadas para las fases de construcción, operación del proyecto. Mientras que la tabla 4.16 representa las emisiones totales equivalentes del proyecto utilizado como ejemplo.

**Tabla 4.15.** Resumen de estimación de emisiones fase construcción y operación en toneladas anuales (Ton/año).

| Fase                | Emisión (Ton/año) |              |              |              |              |              |
|---------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                     | MP 10             | MP 2,5       | NOx          | SOx          | CO           | COV          |
| <b>Construcción</b> | 0,263             | 0,066        | 0,624        | 5,99E-05     | 0,289        | 0,037        |
| <b>Operación</b>    | 0,040             | 0,016        | 0,152        | 0,007        | 0,033        | 0,009        |
| <b>Totales</b>      | <b>0,303</b>      | <b>0,082</b> | <b>0,776</b> | <b>0,007</b> | <b>0,322</b> | <b>0,046</b> |

Fuente: elaboración propia

**Tabla 4.16.** Resumen de estimación de emisiones equivalentes totales en fase construcción y operación en toneladas anuales (Ton/año).

| Fase         | Ton/año      |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              | MP10eq       | MP2,5eq      | CO           | COV          |
| Construcción | 0,476        | 0,279        | 0,289        | 0,037        |
| Operación    | 0,092        | 0,069        | 0,033        | 0,009        |
| <b>Total</b> | <b>0,568</b> | <b>0,348</b> | <b>0,322</b> | <b>0,046</b> |

Fuente: elaboración propia

En las tablas anteriores podemos apreciar que los resultados nuevamente coinciden con los mostrados en la siguiente imagen, que corresponde a la Dashboard de resumen del cálculo de estimación de emisiones. En ella podemos interactuar con los botones de los cuadros para revisar las emisiones obtenidas por la calculadora en base a tipo de contaminante o actividad que provoca la emisión. Además, se puede ver más fácilmente mediante los gráficos, las actividades que provocaron mayor o menor emisión de material particulado o gases de combustión.

El grafico de barras de la izquierda muestra la emisión seleccionada en el cuadro de mando para cada actividad, mientras que el grafico de anillo de la derecha muestra estos resultados en porcentaje. A su vez el grafico circular central muestra el total de emisiones por tipo de contaminante. El detalle individual de emisión de cada contaminante por actividad se muestra en la tabla izquierda, por otro lado, el total resumen del total de emisiones equivalentes se muestra en el cuadro superior derecho.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.6 Resumen de Resultados de la Calculadora de Estimación de Emisiones.

Según los resultados de emisiones presentado, el mayor aporte de material particulado está asociado a las actividades de demolición (0,147 ton MP MP<sup>10</sup> y <sup>2,5</sup>/año). En cuanto a la generación de gases como consecuencia de combustión, está asociada al uso de la maquinaria, en particular a la generación de NOx (0,572 ton NOx/año).

Respecto a las emisiones durante la fase de operación, en total estas son mucho menores a las estimadas en la fase de construcción, siendo de 0,056 ton MP<sup>10</sup> y <sup>2,5</sup>/año, provenientes en mayoría como consecuencia del tránsito por vías pavimentadas. Por otra parte, los gases de combustión no superan las 0,201 toneladas de emisión, dado que el tránsito asociado a insumos y residuos es de carácter esporádico. Caso similar corresponde a la utilización del grupo electrógeno, el cual se utiliza en ocasiones puntuales, en las cuales existen fallos asociados al suministro eléctrico mediante la red.

En cuanto a la fase de abandono, dado que no está previsto el cese de la operación de la planta, ni su abandono y se espera mantener el servicio mientras exista la localidad de Curepto, no se estimaron sus emisiones.

## **6.6 PLANES DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICAS**

Desde el punto de vista de los planes de prevención y descontaminación del proyecto ejemplo, se puede mencionar que las rutas utilizadas de transporte en la fase de construcción contemplan el paso por las zonas declaradas por el D.S. 12/2010 como Zona saturadas por material particulado respirable MP10 a las comunas de Talca y Maule y declarada por el D.S. 53/2016 como Zona Saturada por material particulado fino respirable MP2,5 al valle central de la Provincia de Curicó.

En la Fase de Operación, para el caso del transporte de los residuos peligrosos, la ruta utilizada contempla el paso por las comunas de Chillan y Chillan Viejo declaradas por el D.S. 36/2013 como Zona Saturada por material particulado fino respirable MP2,5 y como zona latente por material particulado respirable MP10.

Todas estas zonas cuentan con su respectivo plan de descontaminación atmosférico aplicable: El D.S. 49/2015 que Establece el Plan de Descontaminación Atmosférica para las Comunas de Talca y Maule; y el D.S. 44/2017 que Establece el Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle Central de la Provincia de Curicó; y el D.S 48/2016 que establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Chillán y Chillán Viejo.

Estos planes establecen que la emisión anual de 1 tonelada o más de material particulado (MP), deberá ser compensada en un 120%. Como las emisiones generadas por el proyecto en cualquiera de sus fases al interior de cada una de las mencionadas zonas saturadas se encuentran por debajo del umbral que hace obligatoria la compensación de emisiones, el proyecto en evaluación no debe cumplir con la señalada obligación de compensar sus emisiones, conforme a los Planes de Descontaminación Atmosférica aplicables.

Sin embargo, para bajar aún más las emisiones de MP, sobre todo en la fase de demolición, se sugiere considerar las siguientes medidas para la minimización de las emisiones atmosféricas en la fase de construcción:

- Humectación de zonas donde se realizarán movimientos de tierra. Se realizará 1 vez al día, con excepción de los días de lluvias, y según las condiciones del material particulado, se podrá aumentar la frecuencia en caso de que sea necesario.
- Uso de carpetas cobertoras en tolvas de camiones que transporten material.
- Mejora de la tecnología, tanto de los vehículos como las maquinarias utilizadas en el proyecto por otros que sus emisiones sean más bajas.

Debido a que la Comuna de Curepto no ha sido declarada latente ni saturada en algún contaminante atmosférico. Dado lo anterior, se estima que la operación de la PTAS Curepto no generará la superación de concentraciones ambientales definidas por normas primarias de calidad de aire. Lo que lleva a concluir que las emisiones generadas por el proyecto no son significativas y no representan peligro para la población o para los recursos naturales.

## VII CONCLUSIÓN

Las políticas e instrumentos orientadas a reducir la contaminación del aire son una estrategia beneficiosa para el clima y la salud, pues reducen la carga de morbilidad y ayudan a mitigar el cambio climático a corto y largo plazo.

Además de estas políticas, la guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas, en la cual se detallan los parámetros para la estimación, que según la actividad a calcular pueden ser muchos e incluso engorrosos, es una buena herramienta de cálculo pero compleja, entonces la creación de esta calculadora que permite cuantificar de manera más rápida y práctica las emisiones atmosféricas de los proyectos que deban someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, es útil y productiva en el cotidiano vivir en que el tiempo es escaso.

Adicionalmente en la actualidad no existe un programa dedicado a esta guía, que permita realizar cálculos rápidos para estimar las emisiones de material particulado o gases de un proyecto, por lo que el desarrollo de esta calculadora viene a ser un complemento importante que puede convertirse en un aporte significativo para los técnicos y profesionales que requieran estimar las emisiones de sus proyectos o presentar sus reportes a la comunidad con algo más gráfico y amigable.

Por el lado del funcionamiento de la calculadora, se puede verificar que es correcto, ya que para su testeo se realizó el chequeo con los datos de estimación de un proyecto conocido, y después de la comparación de los resultados que podemos apreciar en el capítulo 6.3, donde se muestra ambas formas de realizar los cálculos, se puede constatar que estos son idénticos y que por lo tanto confirma el funcionamiento de la calculadora.

Si bien el proyecto no está en una zona declarada como latente o saturada, pero si algunas de sus actividades de transporte utilizan rutas que contemplan el paso por zonas declaradas como saturadas para material particulado (2,5 o 10), que cuentan con su respectivo plan de prevención y descontaminación, y que al analizar estos planes establecen que la emisión anual de 1 tonelada o más de material particulado (MP), deberá ser compensada en un 120% y como las emisiones generadas por el proyecto en cualquiera de sus fases al interior de cada una de las mencionadas zonas saturadas se encuentran por debajo del umbral que hace obligatoria la compensación de emisiones, el proyecto en evaluación no debe cumplir con la señalada obligación de compensar sus emisiones.

Pero, por otro lado, después de haber diseñado, elaborado y probado la calculadora de estimación de emisiones, así como también realizado los demás capítulos de este escrito, puedo concluir que se han cumplido cabalmente todos los objetivos propuestos al comienzo de este trabajo.

## **VIII DISCUSIÓN**

Los Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica (PPDA), son instrumentos de gestión ambiental, que a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tiene por finalidad reducir los niveles de contaminación del aire, con el objeto de resguardar la salud de la población. Estos planes tienen una importancia determinante pues nos permiten establecer medidas específicas para las zonas que están cerca de exceder o que exceden las normas. Para ello es importante cuantificar estas emisiones y una herramienta que permite realizar esto, es la guía metodológica de estimación de emisiones.

El cálculo de estimaciones mediante esta guía no es algo inmediato, y puede ser un proceso que puede tomar horas e incluso días. A partir de esta premisa, es que se hace necesario realizar estimaciones preliminares o rápidas de un proyecto para que los cálculos de emisiones que, actualmente son requisitos para el ingreso de los proyectos al sistema de evaluación de impacto ambiental y son una parte importante del proceso para que un proyecto tenga una resolución favorable, es que la calculadora se convierte en una ayuda para optimizar los cálculos y procesos en la ingeniería de las emisiones, como bien se menciona en los objetivos de este trabajo.

El valor agregado, es que la calculadora puede ser utilizada perfectamente como herramienta de presentación en el caso en que el ingeniero de proyecto o persona a cargo de mostrar un proyecto al titular, autoridad o incluso a la comunidad en una participación ciudadana, pueda explicar sin tanta tabla o fórmula, que los resultados al ser calculados de manera más simple, rápida, amigable con gráficos y didácticos, se puedan entender de mejor manera que presentarlos de manera habitual, y así conocer el impacto que pueda llegar a tener el proyecto y que muchas veces no son tan significativos.

Como esta es la primera versión de la calculadora y funciona similar a un programa, es preciso mencionar que probablemente pueda tener mejoras, tanto estéticas como funcionales, esto es algo que ocurre en todo tipo de programas o softwares, en que siempre surgen nuevas actualizaciones o versiones que mejoran a la versión anterior y que seguramente para esta calculadora no será la excepción.

## **IX LINKS DE INTERÉS**

[Aire Chile](#)

[Sistema de Información Ambiental \(SINIA\)](#)

[Sistema de Información Legal](#)

[Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire \(SINCA\)](#)

[Servicio de Evaluación Ambiental](#)

[Superintendencia del Medio Ambiente](#)

[normastecnicas.mma.gob.cl](http://normastecnicas.mma.gob.cl)

[Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica \(PPDA\)](#)

[Sistema nacional de información de fiscalización ambiental \(SNIFA\)](#)

[Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas en la RM](#)