



GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES PARA FUENTES DE COMBUSTIÓN

DICIEMBRE 2022

CONTENIDO

Contenido	2
Índice de tablas	3
1. Introducción	1
2. Objetivos.....	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES QUE IMPLICAN GENERACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA RMS.	3
3.1. Elaboración de un listado de actividades que implican combustión en la Región Metropolitana.	3
3.2. Identificación de actividades que puedan implicar una mayor intensidad en la generación de emisiones atmosféricas productos de combustión.	5
4. Nuevos Mecanismos de Compensación DE EMISIONES	11
4.1. Grupos electrógenos.....	12
4.2. Eliminación de quemas agrícolas	17
4.3. Filtros DPF en maquinaria de construcción.....	22
4.4. Filtros DPF en camiones recolectores de basura.....	28
4.5. Recambio de motocicletas convencionales por motocicletas eléctricas	32
5. ESTIMACION DE COSTOS.....	37
6. Bibliografía.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1-1. Inventario de emisiones año base 2015, según DS 31/2016.....	3
Tabla 3.1-2. Inventario en MP2,5, MP2,5 equivalente y su aporte a partir de año base 2015)	3
Tabla 3.1-3. Conversión para MP2,5 equivalente por contaminante	4
Tabla 3.2-1. Caracterización y estimación de la reducción de emisiones grupos electrógenos.....	6
Tabla 3.2-2. Resumen quemas año 2017 archivo de trabajo CONAF	8
Tabla 3.2-3. Determinación de emisiones y su participación en actividades agrícolas que solicitan permisos en la Región Metropolitana.	8
Tabla 3.2-4. Distribución de maquinaria off road a nivel nacional (2014)	9
Tabla 3.2-5. Determinación de las emisiones a reducir mediante incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura. en la Región Metropolitana.	10
Tabla 3.2-6. Determinación de las emisiones a reducir mediante incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura. en la Región Metropolitana.	10
Tabla 3.2-7. Determinación de las emisiones a reducir mediante el reemplazo de motocicletas de delibery por eléctricas en la Región Metropolitana.	11
Tabla 4.1-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: grupos electrógenos	12
Tabla 4.1-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: reemplazo de generadores antiguos	14
Tabla 4.1-3. Factores de emisión para grupos electrógenos.....	14
Tabla 4.1-4. Acreditación plan de seguimiento: recambio de calefactores	15
Tabla 4.1-5. Emisiones de grupo electrógeno de 1.820 kW con y sin SCR.....	16
Tabla 4.2-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: eliminación de quemas agrícolas.....	18
Tabla 4.2-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: eliminación de quemas agrícolas	18
Tabla 4.2-3. Factores de emisión para quemas agrícolas.....	19
Tabla 4.2-4. Emisión para 1 tonelada quemada de masa vegetalional	19
Tabla 4.2-5. Valores de parámetros s y Cf por tipo de cultivo.: Reemplazo de quemas agrícolas	20
Tabla 4.2-6. Acreditación plan de seguimiento: Eliminación de quemas agrícolas.....	21
Tabla 4.2-7. Determinación de las emisiones reducidas	21
Tabla 4.3-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: filtros DPF en maquinaria de construcción	22
Tabla 4.3-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: filtros DPF para maquinaria de construcción	23
Tabla 4.3-3. Factores de Emisión para Maquinaria Fuera de Ruta Diesel.....	24
Tabla 4.3-4. Valor por defecto niveles de actividad para Maquinaria de Construcción en la Región Metropolitana.....	25
Tabla 4.3-5. Acreditación plan de seguimiento: Filtros DPF para fuentes móviles	26

Tabla 4.4-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: filtros DPF en camiones recolectores de basura	28
Tabla 4.4-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: filtros DPF en camiones recolectores de basura	28
Tabla 4.4-3. Valor por defecto factor de emisión de Camiones Recolectores de Basura	29
Tabla 4.4-4. Valor por defecto niveles de actividad para camiones recolectores de basura en la Región Metropolitana	30
Tabla 4.4-5. Acreditación plan de seguimiento: filtros DPF en camiones recolectores de basura	30
Tabla 4.5-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: recambio motocicletas	32
Tabla 4.5-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: recambio de motocicletas.....	32
Tabla 4.5-3. Valor por defecto factor de emisión de motocicleta convencional.....	34
Tabla 4.5-4. Valor por defecto niveles de actividad para motocicletas de Delivery en la Región Metropolitana.....	34
Tabla 4.5-5. Acreditación plan de seguimiento: recambio de motocicletas.....	35
Tabla 5-1. Actualización de costos Guía 2019	37
Tabla 5-2. Estimación de costos nueva alternativas	37

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la evolución de la calidad del aire y logros alcanzados a la fecha, la Región Metropolitana de Santiago (RMS) ya no se encuentra en condición de saturación para Dióxido de Nitrógeno (NO₂) ni Monóxido de Carbono (CO). Sin embargo, dicha condición persiste para Material Particulado Fino Respirable (MP_{2,5}), Material Particulado Respirable (MP₁₀) y Ozono (O₃).

El D.S. N°31/2016, del Ministerio del Medio Ambiente, que Establece Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (PPDA), tiene por objetivo dar cumplimiento a las Normas Primarias de Calidad Ambiental del aire vigentes, asociadas a los contaminantes Material Particulado Fino Respirable (MP_{2,5}), Material Particulado Respirable (MP₁₀), Ozono (O₃) y Monóxido de Carbono (CO), en un plazo de 10 años.

Para alcanzar dicho objetivo, el Plan propone una serie de medidas e instrumentos de control de emisiones directas y de precursores de contaminantes. Entre las cuales se encuentran medidas estructurales, las que están orientadas al control de las emisiones provenientes de calefacción residencial a leña en zonas urbanas, al mejoramiento de combustibles para el transporte y al establecimiento de normas y metas de reducción de emisiones en la industria.

Una de estas medidas, establece que todas aquellos proyectos o actividades, ya sean nuevos o modificaciones, que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), deberán compensar sus emisiones totales anuales, directas e indirectas, si en cualquiera de sus etapas generan un aumento sobre la situación base, en valores iguales o superiores a los presentes en la Tabla VI-14 del PPDA.

El Sistema de Compensación de Emisiones de la Región Metropolitana, permite la incorporación de nuevas actividades económicas o su expansión, sin que esto se traduzca en un aumento de emisiones, otorgándole así un grado de flexibilidad al desarrollo de nuevas actividades en la región y promoviendo en los proyectos que ingresan a la región:

- 1) El cumpliendo con las normas de emisión aplicables,
- 2) El que los proyectos sean diseñados con las mejores tecnologías para minimizar las emisiones, de forma tal de reducir al máximo la necesidad de compensar.
- 3) El que los proyectos calculen y compensen sus emisiones, en un 120%, con lo cual teóricamente realizan un aporte a la reducción del total de las emisiones de la cuenca.
- 4) La incorporación de tecnologías en algunos sectores que de otra forma seguirían rezagados. Un buen ejemplo de esto es el reemplazo de calefactores a leña por sistemas de aire acondicionado "Split Inverter" de alta eficiencia, desarrollado con un enfoque voluntario.

Los mecanismos de esta ampliación de alternativas de compensación de emisiones, son los siguientes

- ✓ Reducción de emisiones en Grupos electrógenos.
- ✓ Reducción de emisiones por reemplazo de quemas controladas por otras actividades.
- ✓ Motocicletas.
- ✓ Maquinaria fuera de ruta

- ✓ Filtros DPF en camiones recolectores

En este documento, se conforma con cinco mecanismos de compensación de emisiones, con el fin de que los titulares de los proyectos cuenten con alternativas para implementar sus programas de compensación de emisiones, en el caso que deban compensar emisiones de acuerdo a lo que establezca la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo general es ampliar la guía de alternativas de compensación de emisiones de fuentes con combustión del año 2019, con el objetivo de contar con una mayor cantidad de alternativas que estén a disposición de los titulares de proyectos que hayan ingresado al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y que deban compensar sus emisiones, de acuerdo con lo establecido en su respectiva Resolución de Calificación Ambiental (RCA).

2.2. Objetivos específicos

- i. Identificar actividades que implican generación de emisiones atmosféricas por combustión en la RMS.
- ii. Desarrollar nuevos mecanismos de compensación que permitan compensar emisiones provenientes de fuentes que implican combustión.
- iii. Ampliar y actualizar la guía de mecanismos de compensación de emisiones de fuentes con combustión.

3. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES QUE IMPLICAN GENERACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA RMS.

3.1. Elaboración de un listado de actividades que implican combustión en la Región Metropolitana.

Para identificar las actividades que puedan generar emisiones de MP₁₀ y MP_{2,5} por combustión, se revisa el inventario de emisiones del DS 31/2016, y que se transcribe a continuación, para MP₁₀, MP_{2,5}, SO_x y NH₃.

Tabla 3.1-1. Inventario de emisiones año base 2015, según DS 31/2016.

	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	NH ₃	MP _{2,5 eq}
Industria	911	874	1994	4895	0	2.129
Residencial Leña	2251	2.191	36	214	178	2.249
Residencial no leña	100	95	294	1563	10	380
Evaporativas	0	0	0	0	0	0
Agroindustria	0	0	0	0	17.210	1.951
Quemas Agrícolas	131	118	28	81	1	137
Transporte	1109	1.109	91	24.954	548	4.136
Maquinaria Fuera Ruta	1178	1.143	35	9.781	3	2.305
Otros (*)	174	157	13	70	23	172
TOTAL	5.854	5.687	2.491	41.558	17.973	13.459

Fuente: tabla I-7 DS 31/2016.

Es interesante construir a partir del cuadro anterior, las emisiones de MP_{2,5} equivalentes, considerando las equivalencias respecto de SO₂, NO_x y NH₃, tal como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla 3.1-2. Inventario en MP_{2,5}, MP_{2,5} equivalente y su aporte a partir de año base 2015)

	MP _{2,5}	MP _{2,5} - SO ₂	MP _{2,5} - NO _x	MP _{2,5} - NH ₃	MP _{2,5 eq}	Participación MP _{2,5 eq}
Industria	874	680	576	0	2.129	16%
Residencial Leña	2191	12	25	20	2.249	17%
Residencial no leña	95	100	184	1	380	3%
Evaporativas	0	0	0	0	0	0%
Agroindustria	0	0	0	1951	1.951	14%
Quemas Agrícolas	118	10	10	0	137	1%
Transporte	1109	31	2934	62	4.136	31%
Maquinaria Fuera Ruta	1143	12	1150	0	2.305	17%
Otros (*)	157	4	8	3	172	1%
TOTAL	5.687	849	4.886	2.038	13.460	100%

Fuente: Elaboración propia en base al Inventario 2015 USACH y tabla de equivalencias del artículo 61 del DS31/2016, reproducida a continuación.

Tabla 3.1-3. Conversión para MP_{2,5} equivalente por contaminante

	Emisión equivalente MP 2,5 (t/año)
1 t/año SO ₂	0,34089
1 t/año NO _x	0,11757
1 t/año NH ₃	0,11339

Fuente: Tabla VI-13 del artículo 61 del DS31/2016,

De la tabla 3.1.2, se observa que la industria participa en un 16%, sin embargo, las emisiones del sector ya están controladas por el DS 31/2017, con exigencia de reducción a partir de metas más estrictas a los establecimientos industriales, normas de emisión en MP y NO_x, y metas individuales de reducción en NO_x vigentes desde el plan de descontaminación anterior, entre otras exigencias, lo cual dificulta encontrar actividades adicionales de reducción de emisiones. Sin embargo, para los grupos electrógenos, el DS 31/2016 establece normas de emisión más estrictas para grupos electrógenos nuevos, no así para los grupos electrógenos existentes, que no tienen normas de emisión a comprometer. Por lo tanto, para este sub sector, se ha considerado en el análisis el recambio de grupos electrógenos existentes por grupos electrógenos nuevos.

Las emisiones residenciales a leña aportan un 17%, pero ya están abordadas con la reducción estimada por calefactor a leña y su reemplazo por calefactores eléctricos o a pellet, en la guía de compensación 2019.

Las emisiones de la agroindustria, se estiman en 17.210 toneladas anuales de NH₃, si se aplica la equivalencia de 0,11339 de MP_{2,5} y MP₁₀, las emisiones totales serían de 1.951 t/año de MP₁₀/MP_{2,5}. En la propuesta presentada, se consideraba medidas de reducción de emisiones adicionales a las establecidas en el PPDA, para establecer la adicionalidad si se logran reducciones mayores a las establecidas en ella, sin embargo, en reunión con la contraparte, se hizo ver que el artículo 61 permite la conversión para MP_{2,5} solamente para fuentes con combustión, y las emisiones de NH₃ en los planteles de cerdos y crías de aves no corresponden a emisiones de combustión y por lo tanto, no será factible aplicar esta conversión. No obstante lo anterior, en anexo se desarrolla la metodología en caso que a futuro se modifique la normativa.

Las quemas agrícolas se estiman en 131 t/año para MP₁₀ y 118 t/año para MP_{2,5}, correspondiendo al 1% del MP_{2,5} equivalente según el inventario 2015 establecido en el PPDA. En el tenor de lo anterior, se establece una metodología de reducción de emisiones a aplicar mediante el mecanismo de compensación para este sector, enfocado en las quemas legales que solicitan autorización, pero que podrá aplicarse hasta el 24 de noviembre de 2026, ya que en 9 años desde promulgado el DS 31, se prohíbe en todo el año.

Respecto de transporte, hay una participación del 31% de este sector en el MP_{2,5} equivalente, lo cual amerita profundizar en las medidas a aplicar acá. Al respecto, buses y camiones fueron considerados en la guía 2019, sin embargo, en esta guía se apunta a un sub sector específico que corresponde a camiones recolectores de basura que tienen particularidades distintas a los camiones normales, por lo tanto, los factores a aplicar y los respectivos niveles de actividad son distintos y por lo tanto, corresponde a una nueva alternativa de compensación no contemplada en la guía 2019. También en este sector, se propone medidas en motocicletas utilizadas en el comercio del delivery, sub sector tampoco abordado en la guía 2019.

Finalmente, de la tabla 3.1.2, se observa que la maquinaria fuera de ruta aporta con 2.305 t/año de MP2,5 equivalente, lo cual representa un 17% del total de las emisiones, siendo por lo tanto un sector relevante. Para este sector se propone incorporar filtros DPF. Los filtros DPF fueron considerados en la Guía 2019 para buses y camiones. En esta metodología solamente se indicó lo siguiente: *“Por otro lado, si los filtros DPF se piensan implementar en maquinaria fuera de ruta, el nivel de actividad estará determinado por la cantidad de horas al año que se utiliza la maquinaria”*. Sin embargo, no se indicó: cuales serían los niveles de actividad por defecto a considerar, ni tampoco se proporcionaron los factores de emisión de maquinaria, por lo tanto, este sector no fue desarrollado en la Guía 2019.

De este modo, la lista de mecanismos de compensación que se presenta en esta Guía 2022, es la siguiente:

- ✓ Reemplazo de grupos electrógenos existentes por equipos nuevos de mejor tecnología que cumplan con emisiones establecidas en DS 31/2016, en aquellos que funcionan como respaldo para cortar horas punta.
- ✓ Eliminación de quemas legales controladas por reemplazo de actividad para los residuos de biomasa, en predios previamente identificados
- ✓ Reemplazo de motocicletas diesel por motocicletas eléctricas o bicicletas con motores eléctricos asistidos.
- ✓ Incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura
- ✓ Incorporación de filtros DPF en Maquinaria fuera de ruta

Se observa que esta Guía 2022 incorpora 5 nuevos mecanismos de compensación de emisiones, cumpliendo con holgura las bases que exige al menos 2, y lo comprometido en la propuesta técnica que comprometió al menos 3 alternativas.

3.2. Identificación de actividades que puedan implicar una mayor intensidad en la generación de emisiones atmosféricas productos de combustión.

- a) Determinación de las emisiones de grupos electrógenos existentes y su potencial reducción de emisiones por reemplazo de equipos nuevos de mejor tecnología que cumplan con emisiones del DS 31/2016.

Los grupos electrógenos disponibles en los establecimientos industriales de la Región Metropolitana, existentes en la Región Metropolitana son operados en situaciones de corte de energía eléctrica, es decir en situaciones de emergencias o en generación de respaldo para ser utilizados en horas punta.

Un caso especial son los generadores eléctricos arrendados, que son utilizados principalmente para faenas de construcción temporales, donde no existe suministro de energía o como reemplazo de otras fuentes que se encuentran en reparación o en falla técnica.

Otro caso especial son los generadores eléctricos utilizados para generación eléctrica continua y que utilizan como combustible el biogás o gas de relleno sanitario, estos generadores son de gran tamaño y operación continua, por lo que la magnitud de sus emisiones es relevante, en especial las de NOx, en general cuentan con resoluciones de calificación ambiental, por lo que están operando con equipos de reducción de emisiones.

Los generadores eléctricos nuevos deben cumplir con una norma de ingreso, de acuerdo a lo establecido en el PPDA, acreditada mediante un certificado del origen y

mediciones en terreno para aquellos iguales o mayores a 30 litros de desplazamiento volumétrico por cilindro del motor.

Los generadores antiguos no tienen que cumplir con alguna norma de emisiones. Por lo cual es factible realizar la compensación de emisiones si incorporan filtros SCR para abatimiento del 90% de las emisiones de NOx.

La reducción de las emisiones de NOx implica reducción de material particulado MP2,5 Para este análisis se consideró la base de datos de fuentes fijas del año 2017 que administraba la Seremi de Salud, proporcionada por la SEREMI Medio Ambiente RM, considerando grupos electrógenos de respaldo y en arriendo.

Cabe señalar que en la guía 2019, se presentó un ejemplo para filtro en grupo electrógeno, pero para MP, siendo NOx, el contaminante más interesante de reducir, ya que su emisión es del orden de 50 veces mayor que la de MP10, o 6 veces aplicando equivalencia en MP2,5.

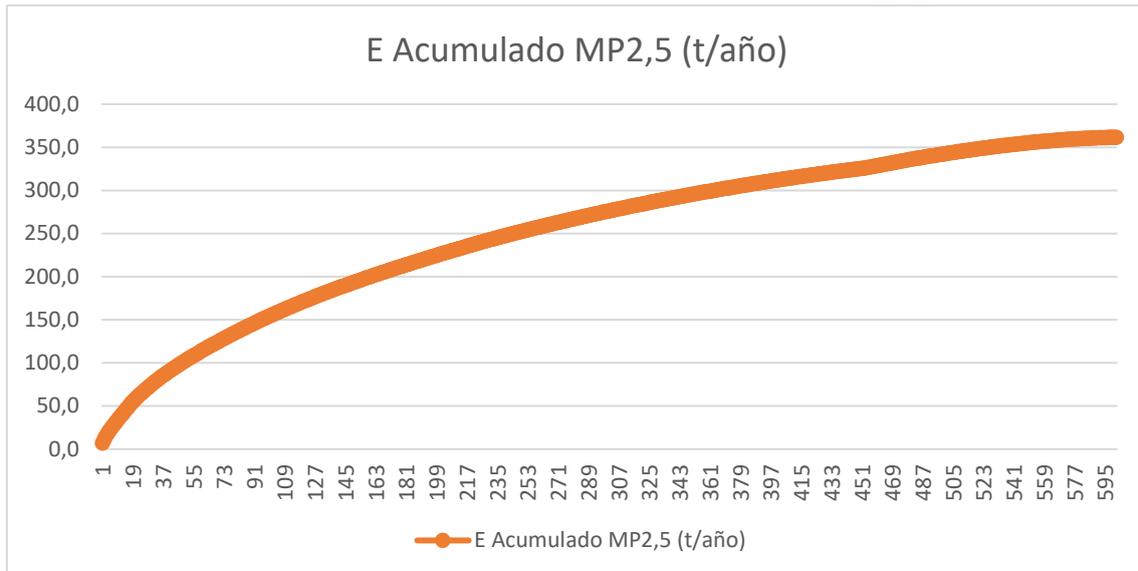
El siguiente cuadro, resume las emisiones de este sub sector.

Tabla 3.2-1. Caracterización y estimación de la reducción de emisiones grupos electrógenos

Grupos electrógenos	Unidad	Respaldo	En arriendo	Total
Número equipos	Nº	602	793	1395
Número equipos igual o superior a 50 kg/h	Nº	368	375	743
mayor consumo	kg/h	1053,2	364	
menor consumo	kg/h	4	1,68	
promedio consumo	kg/h	84,6	64,4	
Emisión MP2,5 equivalente todos los equipos	t/año	363,1	350,2	713,3
Emisión MP2,5 equivalente todos los equipos aquellos con consumo igual o superior a 50 kg/h	t/año	302,8	273,9	576,7
% del aporte de aquellos sobre 50 kg/h versus total	%	83%	78%	81%

Del cuadro anterior, se observa que entre grupos electrógenos de respaldo y en arriendo, existen del orden de los 1400 equipos. Si se acota a aquellos con consumo igual o superior a 50 kg/h de combustible diesel, el número baja a 743 equipos. Estos **743 equipos totalizan 577 t/año de MP2,5 equivalente**. Si con la medida propuesta estas emisiones se logran reducir en un 70%, entonces se reducen **del orden de 400 t/año de MP2,5 equivalente**. Considerando que la industria aporta 2.129 t/año de MP2,5, se lograría en este sector una reducción del 19%.

La siguiente gráfica presenta las emisiones acumuladas de Grupos Electrógenos en MP 2,5 equivalente



Fuente: elaboración propia a partir de base de datos 2017 de fuentes fijas proporcionada por Seremi de Medio Ambiente

Lo cual permite visualizar la conveniencia de apuntar a los de mayor tamaño, en este caso sobre los 50 litros/h de consumo de combustible diesel.

- b) Eliminación de quemas legales controladas por reemplazo de actividad para los residuos de biomasa, en predios previamente identificados.

La tarea corresponde a identificar las quemas controladas en primer lugar, y luego definir una medida alternativa que erradique esta práctica y su forma de acreditación para considerarla como una de las medidas a incorporar. Se ha realizados consultas a profesionales de CONAF, quienes indican que tienen una completa estadística a nivel nacional y dentro de la RM, de las quemas realizadas, tanto legales, las cuales están sujetas a un permiso solicitado y por lo tanto perfectamente identificable,

En el caso de abordar las quemas legales, las acciones tenderían a identificar aquellos que regularmente las solicitan y evaluar medidas alternativas y sus costos, las que pueden ser consideradas para el desarrollo de una compensación de emisiones. En el caso de la reducción de quemas ilegales, se tendría que profundizar en las medidas actuales de fiscalización de CONAF y evaluar la incorporación de mayores recursos en prevención de manera que al final del período, se pueda contrastar la reducción de eventos logrado y traducirlo también en una reducción de emisiones potencial de considerar en una compensación de emisiones, para este caso, se requiere de una mayor profundización que no es posible realizar en esta guía.

Las siguientes tablas, obtenidas de registros de CONAF, muestran información disponible sobre la cual se puede realizar una estimación de emisiones asociadas a las quemas agrícolas y forestales.

Fuente: Archivo de trabajo CONAF

Tabla 3.2-2. Resumen quemas año 2017 archivo de trabajo CONAF

Región	Tipo de quema		Total				
	Agrícola	Forestal	N° avisos				Sup. tratada (ha)
	Sup. tratada (ha)	Sup. tratada (ha)	Agrícola	Forestal	Mixto	Total	
XV	152,87	0	139	0	0	139	152,87
I	0,8	0,1	4	0	1	5	0,9
II	5,45	0	50	0	0	50	5,45
III	206,61	2,1	354	1	3	358	208,71
IV	613,72	10,75	509	20	4	533	624,47
V	930,98	285,63	563	109	4	676	1.216,61
VI	5.887,28	1.514,53	1.429	154	5	1.588	7.401,81
VII	8.235,17	2201,36	1083	205	2	1290	10.436,53
VIII	51.264,53	6376,41	3.931	381	17	4.329	57.640,94
IX	147.891,41	9580,15	4150	272	5	4427	157.471,56
XIV	9290,68	64,08	716	34	1	751	9354,76
X	12.256,32	202,43	1.465	77	53	1.595	12.458,75
XI	880,15	345,73	528	96	11	635	1225,88
XII	33,48	4,24	20	4	2	26	37,72
XIII	1434,51	41,74	1603	39	6	1648	1476,25
TOTAL	239.083,97	20.629,25	16.544	1.392	114	18.050	259.713,22

De la tabla anterior, se puede determinar la situación de la Región Metropolitana, de acuerdo a desarrollo que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3.2-3. Determinación de emisiones y su participación en actividades agrícolas que solicitan permisos en la Región Metropolitana.

Actividades agrícolas que solicitan permiso de quema	Unidad	Valor	Referencia
Hectáreas tratadas con quemas en agricultura	Ha	1603	Tabla 3.2-3, registro conaf
Estimación de la masa vegetal a quemar por hectárea	t masa vegetal /ha	7	Estimación propia
Estimación total de la masa vegetal a quemar en 1 año	t masa vegetal /ha	11221	1603 x 7
MP2,5 Equivalente por tonelada de residuo	t MP2,5 eq/t masa vegetal	0,0061	Determinado en capítulo 4.2 de esta guía
Emisión total MP 2,5 equivalente	T MP 2,5 eq/año	69	11.221 x 0,0061
Emisión total MP 2,5 equivalente Inventario quemas	t MP2,5/año	137	Tabla 3-1-2. Se asume que las emisiones en 2015 son similares al período 2021-2022
% Sub Total Actividades que solicitan permiso de quema	%	50%	Sub Total Actividades que solicitan permiso de quema / Total general

Fuente: *Elaboración propia*

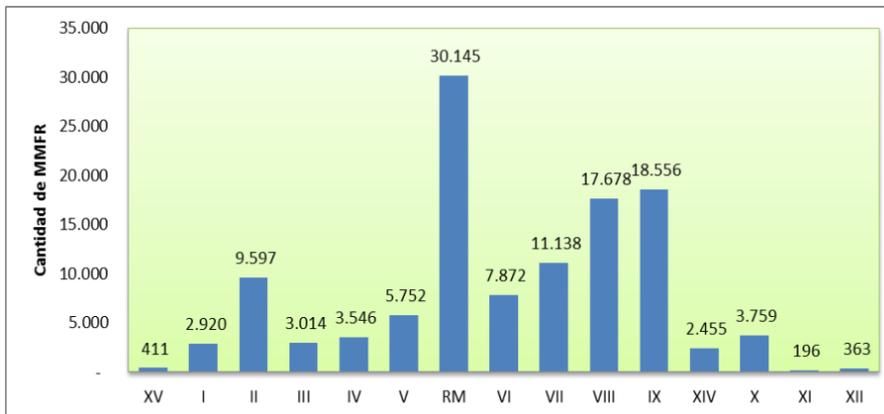
Del cuadro anterior, se observa que esta medida logra una reducción potencial de 69 t MP2,5 equivalente/año, lo cual correspondería a un 50% de las quemas anuales en un año normal.

c) Incorporación de filtros DPF en Maquinaria fuera de ruta

El sector de maquinaria fuera de ruta puede ser muy interesante a explorar para efectos de compensar emisiones de MP. La principal razón es que el 2014 era la segunda fuente emisora de MP_{2,5} en importancia, después de la leña, siendo muy probable que tales emisiones se hayan incrementado en la última década, de acuerdo a la proyección del estudio que se menciona más adelante. En segundo lugar, existe una tecnología de control probada para este tipo de fuentes: los filtros DPF, respecto de los cuales el mismo MMA, con apoyo de la cooperación Suiza, ha realizado programas piloto de retrofit enfocados en maquinaria de construcción. Identificación de actividades que puedan implicar una mayor intensidad en la generación de emisiones atmosféricas productos de combustión.

Para el año 2014 se estima una flota cercana a las 90 mil unidades a nivel nacional, de las cuales 30 mil se concentran en la Región Metropolitana. El mismo estudio proyecta el crecimiento a nivel nacional hasta el 2025. Según tales proyecciones el parque de la Región Metropolitana, al menos se duplicaría al 2022, superando las 60 mil unidades.

Tabla 3.2-4. Distribución de maquinaria off road a nivel nacional (2014)



Fuente: Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. Diciembre de 2014 – GEASUR.

Los filtros de partículas diésel (DPF), son dispositivos que capturan las partículas provenientes de los motores diésel. Este tipo de tecnología ha demostrado ser la más eficaz para el control de partículas diésel, tanto en masa (reduce 90% de la masa del material particulado), como en número de partículas (reduce 99% de la cantidad de partículas), lo que se traduce en reducción de emisiones de carbono negro. La maquinaria móvil fuera de ruta (MMFR) en la Región Metropolitana tiene un aporte de un 18% en la contribución de las emisiones de MP_{2,5} (según cifras del inventario base 2014), siendo la maquinaria de construcción la que presenta un mayor aporte de MP_{2,5} con un 74% del total de las emisiones de la MMFR en la Región Metropolitana (Actualización para proyecto definitivo del análisis general del impacto económico y social del Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana, del MMA 2016).

Cómo se ha mencionado en este informe, el sector de la maquinaria fuera de construcción representa un aporte muy significativo en la Región Metropolitana, estimado en el Inventario Base de Emisiones (2015) en 1.178 ton/año de MP₁₀ y 1.143 ton/año de MP_{2,5}.

Una alternativa de compensación en este sector, para ser eficiente debería apuntar a las categorías más masivas en el segmento maquinaria de construcción: Retroexcavadoras (24,2%), Excavadoras (15,9%) y Cargadores Frontales (12,3%) con

lo cual se alcanza el 52,4 del parque de maquinaria de construcción (Fuente: Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. 2014 – GEASUR).

Así, se determina que sería factible introducir filtros DPF en el 50% de este sector.

El siguiente cuadro presenta los parámetros y supuestos utilizados para determinar la potencial reducción de emisiones mediante la incorporación de filtros DPF en maquinaria asociada a la construcción o fuera de ruta.

Tabla 3.2-5. Determinación de las emisiones a reducir mediante incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura. en la Región Metropolitana.

Parámetro	PM10 ton/año	PM2,5 ton/año
Maquinaria Fuera de Ruta	1.178	1.143
Emisiones del 50% de la Maquinaria Fuera de Ruta	589	572
Eficiencia filtro DPF	90%	90%
Reducción lograda al 50% del parque de maquinaria	530	514

d) Incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura

El siguiente cuadro presenta los parámetros y supuestos utilizados para determinar la potencial reducción de emisiones mediante la incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura.

Tabla 3.2-6. Determinación de las emisiones a reducir mediante incorporación de filtros DPF en camiones recolectores de basura. en la Región Metropolitana.

Parámetro	Unidad	Valor
Parque camiones recolectores de basura en la RM	Nº	616
Nivel de actividad	km/año	25000
Ciclos de compactación de basura al día	Nº	70
Potencia aproximada de curva de torque en Ralentí	%	70%
Emisión unitaria MP10 / MP2,5 camiones recolectores Euro 3	t/año	0,036
Reducción lograda con filtro MP10 / MP2,5	%	90%
Emisión MP10 / MP2,5 con filtro	t/año	0,0036
Reducción MP10 / MP2,5 lograda con filtro	t/año	0,0324
Porcentaje de camiones recolectores a intervenir	%	50%
Número de camiones recolectores a intervenir en la RM	Nº	308
Reducción total lograda con instalación de filtro	t/año	10,0

Fuente: Elaboración propia

e) Reemplazo de motocicletas diesel por motocicletas eléctricas o bicicletas con motores eléctricos asistidos.

En el caso de las motocicletas, se pretende evaluar es el recambio de motocicletas con motor a gasolina por eléctricas de cero emisiones, enfocándose en aquellas que prestan servicios de delivery (alto nivel de actividad y fácilmente identificables).

La Asociación Nacional de Importadores de Motocicletas (ANIM) entregó las cifras del mercado chileno en 2020, informando ventas de 31.876 unidades. Según un reportaje de La Tercera, más de 24 mil motos nuevas se vendieron en Chile durante el primer semestre de 2021, por lo cual se podría estimar que el año 2021 cerró con cerca de 50 mil motocicletas vendidas. Estas ventas que evidencian el boom que han tenido los servicios de delivery en tiempos de pandemia. Se espera que este tipo de servicios siga aumentando, por lo cual el número de motocicletas asociadas a estos servicios debería aumentar y con ello su impacto. Según datos del INE, aproximadamente el 50% de las motocicletas que se venden a nivel nacional se inscriben en la Región Metropolitana.

Por otra parte, para estimar el N° de motos que podrían estar prestando este tipo de servicios en la R.M. se revisó la prensa. EMOL destaca en julio de 2021 lo siguiente: "Boom" de plataformas digitales: Casi 200 mil personas trabajaron en servicio de transporte o delivery en últimos 24 meses, en base a un estudio del Centro de Encuestas y Estudios Longitudinales de la U. Católica que dio cuenta del impacto que han tenido estas herramientas en el mercado laboral y en los hogares del país. Si suponemos que el 50% se localiza en la Región Metropolitana y que sólo el 50% de los servicios se realiza en motocicletas (también se utilizan automóviles y bicicletas) **se puede proyectar del orden de 50 mil motos dedicadas a delivery en la Región Metropolitana.**

El nivel de actividad se estima en **43.360 km/año.**

Las emisiones se consideran según Euro 3, que corresponde a la normativa vigente en Chile desde el año 2019, y según la encuesta, la edad promedio de las motocicletas usadas para delivery no superaba los 2 años.

Tabla 3.2-7. Determinación de las emisiones a reducir mediante el reemplazo de motocicletas de delivery por eléctricas en la Región Metropolitana.

	NOx ton/año	PM10 ton/año	PM2,5 ton/año	PM2,5 eq ton/año
Reducción de Emisiones Unitaria	0,00256	0,00065	0,00043	0,00073
Reducción Total	128,0	32,5	21,5	36,5
Inventario R. Metropolitana 2015	41559	5854	5686	13459
Aporte Alternativa (%)	0,3%	0,6%	0,4%	0,3%
Aporte en fuentes móviles				4136
Aporte Alternativa (%)				0,9%

Fuente: *Elaboración propia*

Del cuadro anterior, se observa que el retiro de 50.000 motos diesel de delivery y su reemplazo por eléctricas logra una reducción de 36,5 t/año de Mp2,5 equivalente, que equivale al 0.9% de las emisiones de MP2,5 asociadas a transporte, y un 0,3% respecto del inventario RM.

4. NUEVOS MECANISMOS DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES

En este capítulo, se presentan nuevos mecanismos de compensación de emisiones las que pueden sumarse a los establecidos en la Guía 2019.

Los mecanismos de esta ampliación de alternativas de compensación de emisiones, son los siguientes

- ✓ Reducción de emisiones en Grupos electrógenos.
- ✓ Reducción de emisiones por reemplazo de quemas controladas por otras actividades.
- ✓ Motocicletas.
- ✓ Maquinaria fuera de ruta
- ✓ Filtros DPF en camiones recolectores

4.1. Grupos electrógenos

Descripción del mecanismo

La compensación de emisiones con generadores eléctricos, puede ser interesante de implementar mediante la incorporación de filtro SCR para reducir 90% de las emisiones de NOx.

El proyecto de compensación por reemplazo de generadores eléctricos debe incluir tres aspectos fundamentales para su implementación:

- ✓ Que se ha realizado la declaración de las horas de operación correspondiente y cuenten con el sistema de registro de las horas de operación anuales, que acrediten el nivel de actividad a ser utilizado en el cálculo de las emisiones a ser reducidas, al menos de los últimos 3 años.
- ✓ Que instalados los filtros SCR se realice medición de NOx, también comparando con medición antes de instalación de filtro.

En la Tabla 4.1-1 se presenta el resumen de cumplimiento de criterios para este mecanismo de compensación, el cual se puede utilizar como referencia para la elaboración del informe del PCE si se selecciona este mecanismo para compensar emisiones.

Tabla 4.1-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: grupos electrógenos

Criterio	Detalle
Medible	Es factible medir las horas de operación efectivas e históricas de los generadores eléctricos, mediante un horómetro.
Verificable	La evidencia a presentar por el proponente tal como la instalación del SCR y su permanencia en el tiempo, son de fácil verificación.
Adicional	Las emisiones de Nox no están sujetas a norma de emisión
Permanente	Siempre y cuando se mantenga en buenas condiciones el equipo SCR, su vida útil se extenderá por un tiempo al menos igual o superior a la cantidad de años que el proyecto deberá compensar sus emisiones

Fuente: Elaboración propia.

Ventajas y desventajas

A continuación, en la

Tabla 4.1-2 se listan las principales ventajas y desventajas del mecanismo de compensación presentado:

Tabla 4.1-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: reemplazo de generadores antiguos

Ventajas	Desventajas
a) Fácil implementación, seguimiento y verificación del reemplazo de generador eléctrico. b) Se reducen emisiones de NOx y MP2,5 equivalente c) Se cuenta con una identificación de los generadores eléctricos en uso y de sus niveles de actividad históricos.	a) Costo del equipo SCR b) La reducción de emisiones es menor en grupos electrógenos pequeños o que presentan pocas horas de funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia

Metodología de cálculo de compensación

Para la estimación de las emisiones de la situación base y con mitigación se considera la metodología considerada en el documento EMEP EEA, Guidebook 2019, Non-road mobile sources and machinery.

Los factores de emisión se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 4.1-3. Factores de emisión para grupos electrógenos

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

(a): (EPA, 1996a), Tabla 3.3-1.

(b): (EPA, 1996b), Tablas 3.4-1, 3.4-2.

(c): (EPA, 2000b), Tablas 3.2-1, 3.2-2, 3.2-3.

Para el cálculo de factores de emisión se utilizaron las densidades y poderes caloríficos presentadas en (MMA, 2017), Tabla 6-5.

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

Fuente: Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana, capítulo 7 grupos electrógenos y calderas.

Un sistema SCR en NOx, permite captar las emisiones de este contaminante en un 90%.

Consideraciones importantes

Para el mecanismo de reemplazo de generadores, se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La compensación se podrá implementar solo para aquellos años cubiertos por el periodo de vida del equipo a ser reemplazado.
- ✓ El titular que decida realizar la compensación de sus emisiones por medio de este mecanismo será el responsable asegurar el mantenimiento del generador eléctrico con sistema SCR de NOx durante los años de duración de la compensación.
- ✓ Las emisiones reducidas por el reemplazo de generadores corresponden a emisiones de combustión por lo cual podrían ser utilizados para compensaciones de fuentes de combustión y fuentes de polvo resuspendido.

Plan de seguimiento

Si se determina realizar la compensación de emisiones mediante un programa de recambio de calefactores, para dar cumplimiento al objetivo general de un plan de seguimiento, se tendrá que incluir lo que se presenta en la siguiente Tabla 4.1-4:

Tabla 4.1-4. Acreditación plan de seguimiento: recambio de calefactores

Ítem	Forma de acreditación
Acreditación del generador eléctrico a reemplazar.	Reporte anual con las horas de operación del equipo existente, catálogo de modelo que indique su tecnología de emisión a utilizar en la compensación de emisiones.
Acreditación de la ejecución del PCE	Medición de NOx cada 3 años de sistema con SCR, planilla de cálculo de la estimación de la reducción de emisiones conseguida que dé cuenta de la correcta implementación del PCE.
Frecuencia de reportes	Entrega de un informe de cumplimiento IFC, al instalar el SCR, e informes cada 3 años. ;Mediciones por entidad ETFA.

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de cálculo aplicado

Se presenta el caso de un grupo electrógeno de 1.820 kW.

Tabla 4.1-5. Emisiones de grupo electrógeno de 1.820 kW con y sin SCR

Parámetro	Unidad	Valor proyecto	Valor con SCR NOx	Referencia
Potencia equipo	Kw	1.820	1.820	Agrícola Súper
Funcionamiento	horas/año	825	825	5,5 horas por día, 25 días mes, 6 meses abril a sept.
Consumo Combustible diesel	kg/h	268,8	268,8	Caso real de grupo electrógeno
Consumo Combustible diesel	kg/año	331.403	221.760	Consumo horario x horas anuales
Caudal de Gases	m ³ N/h	7.700	7.700	Caso real de grupo electrógeno
Factor de emisión MP 2,5	kg Emisión/kg Comb	0,0009392	0,0009392	Para proyecto, se considera valor de nueva Guía RM 2020
Factor de Emisión de NOx	kg Emisión/kg Comb	0,06274	0,012548	0,06274 valor de nueva Guía RM 2020
				Catalizador con 90% de eficiencia, pero se considera 80% como margen de seguridad.
Emisión MP	kg/h	0,3	0,3	E(kg/h) = FEmisión x Cons Comb
Emisión NOx	kg/h	16,86	3,37	
Concentración MP	mg/m ³ N	32,8	32,8	C(mg/m ³ N) = Emisión/Caudal
Concentración NOx	mg/m ³ N	2190,2	438,0	
Emisión MP 1 GE	ton/año	0,21	0,21	E(t/año) = E(kg/h) x horas/año
Emisión NOx 1 GE	ton/año	13,91	2,78	
Emisión equivalente MP 2,5 (t/año) para 1 t/año NOx	t MP2,5 / t NOx	0,11757	0,11757	DS61 PPDA
MP 2,5 equivalente	t MP 2,5 eq/año	1,84	0,54	
Reducción MP 2,5 equivalente	t MP 2,5 eq/año	1,31		
Porcentaje	%	71%		

Fuente: elaboración propia.

Las emisiones bajan de 1,84 t MP2,5 equivalente a 1,31 t MP2,5 equivalente y se logra una reducción del 70% en MP2,5 equivalente.

4.2. Eliminación de quemas agrícolas

Antecedentes, referencias y justificación para su aplicación en la RM

Las quemas agrícolas generan de acuerdo al inventario de emisiones actualizado año base 2015, una emisión de 131 t/año de MP₁₀, 118 t/año de MP_{2,5} y 81 t/año de NO_x.

De acuerdo a lo establecido en el PPDA DS 31/2016, capítulo VIII control de emisiones asociadas a las quemas agrícolas, forestales y de residuos en general, se establece que:

Artículo 96: Se prohíbe el uso del fuego para la quema de rastrojos, y de cualquier tipo de vegetación viva o muerta, en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal en la Región Metropolitana de Santiago, de acuerdo al siguiente cronograma:

- ✓ Desde la entrada en vigencia del decreto, en el periodo desde el 15 de Marzo al 30 de Septiembre.
- ✓ A contar de 5 años desde la entrada en vigencia del decreto, en el periodo desde el 1 de Marzo al 31 de Octubre.
- ✓ A contar de 9 años desde la entrada en vigencia del decreto, en el periodo desde el 1 de Enero al 31 de Diciembre.

La fiscalización de esta medida corresponderá al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), y a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), en el ámbito de sus competencias.

Artículo 98: En el plazo de 18 meses de la entrada en vigencia del presente Decreto, el Ministerio de Agricultura diseñará un programa de minimización de las quemas agrícolas en la Región Metropolitana de Santiago, generando alternativas a dicha práctica, el que deberá orientarse a:

- a) *Caracterizar las actividades agrícolas asociadas al uso del fuego y definición de alternativas para el manejo de residuos agrícolas y preparación de suelos.*
- b) *Programa de educación y difusión de buenas prácticas agrícolas, con énfasis en la erradicación del uso del fuego.*
- c) *Programa de fiscalización y asistencia dirigido a agricultores, ganaderos y silvicultores, en el que se apoye el uso de alternativas al fuego.*

Descripción del mecanismo

La compensación de emisiones con la reducción de quemas agrícolas autorizadas, puede ser implementada solo hasta el 24 de noviembre de 2026. (Transcurren los 9 años desde la promulgación del DS 31/2017).

La compensación de emisiones sólo puede realizarse con quemas agrícolas registradas que fueron permitidas en años anteriores. No pueden considerarse aquellas ilegales, aunque se tenga registro de ellas.

El programa de compensación por reducción de quemas agrícolas autorizadas debe incluir tres aspectos fundamentales para su implementación:

- ✓ Que el área afectada por la quema agrícola autorizada cuente con un historial de autorizaciones otorgadas por CONAF, donde se identifique el área y la cantidad de residuos agrícolas a ser quemados, con al menos tres años de registro.
- ✓ Que el área en la que se realizará el reemplazo siga siendo utilizada para labores agrícolas que generen los residuos que anteriormente eran eliminados mediante

quema.

- ✓ Que se identifique la alternativa de procesamiento de los residuos, la que en ningún caso puede ser generadora de metano.

En la Tabla 4.2-1 se presenta el resumen de cumplimiento de criterios para este mecanismo de compensación, el cual se puede utilizar como referencia para la elaboración del informe del PCE si se selecciona este mecanismo para compensar emisiones.

Tabla 4.2-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: eliminación de quemas agrícolas

Criterio	Detalle
Medible	Es factible medir el área a ser utilizada en la compensación así como la cantidad de residuos a ser eliminados en forma alternativa a la quema
Verificable	La evidencia a presentar por el proponente corresponde a los registros de solicitudes de quema presentadas por el titular a CONAF, los planos del área y la medición de la cantidad de residuo, así como su permanencia en el tiempo..
Adicional	Si la eliminación de la quema y su reemplazo por otra medida se realiza antes del 24 de noviembre de 2026 es adicional, posteriormente dado que las quemas estarán totalmente prohibidas no podría usarse esta alternativa
Permanente	Su duración se podrá reconocer hasta el 24 de noviembre de 2026, salvo que el nuevo PPDA modifique este plazo

Fuente: Elaboración propia

Ventajas y desventajas

A continuación, en la Tabla 4.2-2 se listan las principales ventajas y desventajas del mecanismo de compensación presentado:

Tabla 4.2-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: eliminación de quemas agrícolas

Ventajas	Desventajas
a) Fácil implementación, seguimiento y verificación del reemplazo del área agrícola en que se aplicará la alternativa. b) Se reducen emisiones relevantes de MP _{2,5} , MP ₁₀ y NO _x . c) Se cuenta con una identificación de las áreas en que se utilizó la quema de acuerdo a los registros de CONAF, y de sus niveles de actividad históricos.	a) La determinación de la cantidad de residuos a eliminar según sector debe ser determinado caso a caso, y podría requerir la verificación de un tercero b) Solo puede ser implementada como alternativa antes de noviembre de 2026.

Fuente: Elaboración propia

Metodología de cálculo de compensación

Para la estimación de las emisiones de la situación base y con mitigación se considera la metodología considerada en la guía de elaboración de inventarios, creado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EMEP/EEA, 2019), en sus capítulos 3F. "Field burning of agricultural residues".

La emisión base se estima según la formula siguiente:

$$\text{Emisión contaminante} = \text{TA residuo-quemado} * \text{F.E contaminante}$$

La cantidad de residuo quemado se debe estimar a partir del caso específico del área agrícola en la que se realizará el reemplazo, mediante muestreo y medición de la cantidad de residuos producidos.

Los factores de emisión se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.2-3. Factores de emisión para quemas agrícolas

	F.E (kg/kg material seco)
MP₁₀	0,0057
MP_{2,5}	0,0054
SO₂	0,0005
NO_x	0,0023
NH₃	0,0024

Fuente: EMEP EEA, Guidebook 2019, 3F. "Field burning of agricultural residues".

Tabla 4.2-4. Emisión para 1 tonelada quemada de masa vegetal

	Emisión directa reducida (t/año)	Emisión equivalente reducida (t/año)
MP₁₀	0,0057	0,0057
MP_{2,5}	0,0054	0,0054
SO₂	0,0005	0,0002
NO_x	0,0023	0,0003
NH₃	0,0024	0,0003
Eq Emisión equivalente MP10/ MP2,5 por SO2, NOx y NH3		0,0007
MP₁₀ equivalente		0,0064
MP_{2,5} Equivalente		0,0061

Se obtiene que la quema de 1 tonelada de masa vegetal, equivale a 0,0061 t/año de MP2,5 equivalente.

La estimación de la masa de los residuos quemados (kg materia seca), se puede estimar también usando la misma metodología a partir de la siguiente fórmula.

$$T_{\text{Residuo_quemado}} = A * Y * s * d * pb * Cf$$

Donde:

A= área quemada (ha)

Y= rendimiento de cultivos (kg/ha)

s= tasa entre masa de residuos y rendimiento del cultivo

d= materia seca del cultivo pb= proporción de residuos que son quemados

Cf = factor de combustión.

Los valores de s, d, pb, Cf que se utiliza, son los descritos por defecto en la metodología Tier 2, los cuales además se encuentran en consistencia a las directrices del documento guía para inventarios de gases invernadero IPCC, 2006 (Cap. 2.4).

El resumen de valores, para cada tipo de cultivo mayoritario, para todos se considera d=0,85; y pb=1.

Los valores de s y C_f por tipo de cultivo es la indicada en la siguiente tabla:

Tabla 4.2-5. Valores de parámetros s y C_f por tipo de cultivo.: Reemplazo de quemas agrícolas

Valores por tipo de cultivo		
	s	C_f
Trigo Harinero	1,3	0,9
Trigo Candeal	1,3	0,9
Avena	1,3	0,9
Cebada Forrajera	1,2	0,9
Maíz Consumo	1	0,8
Maíz Semilla	1	0,8
Poroto Consumo	2,1	0,9
Arveja	1,5	0,9
Papa	1,3	0,9
Maravilla	1,3	0,9
Raps	1,3	0,9

Fuente: EMEP/EEA 2019

Consideraciones importantes

Para el mecanismo de reemplazo de quemas agrícolas, se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La compensación se podrá implementar solo para aquellos años cubiertos por el periodo de reemplazo de la alternativa implementada.
- ✓ El titular que decida realizar la compensación de sus emisiones por medio de este mecanismo será el responsable de proporcionar los medios de verificación para asegurar la eliminación total del uso de quema para la disposición de los residuos.
- ✓ Las emisiones reducidas por el reemplazo de quema agrícola corresponden a emisiones de combustión por lo cual podrían ser utilizados para compensaciones de fuentes de combustión y fuentes de polvo resuspendido.
- ✓ Solo puede ser implementada como alternativa antes de noviembre de 2026.

Plan de seguimiento

Si se determina realizar la compensación de emisiones mediante un programa de reemplazo de quemas agrícolas, para dar cumplimiento al objetivo general de un plan de seguimiento, se tendrá que incluir lo que se presenta en la Tabla 4.2-6

Tabla 4.2-6. Acreditación plan de seguimiento: Eliminación de quemas agrícolas

Ítem	Forma de acreditación
Acreditación del área agrícola en que se reemplazará la quema	Reporte anual con el área reemplazada, la cantidad de residuos reducidos, la alternativa a la quema a utilizar en la compensación de emisiones.
Acreditación de la ejecución del PCE	Certificado de acreditación del cumplimiento de la alternativa, planilla de cálculo de la estimación de la reducción de emisiones conseguida que dé cuenta de la correcta implementación del PCE.
Frecuencia de reportes	Entrega de un informe de cumplimiento por cada año en que se desarrolla la compensación, que indique el área y las toneladas de residuos que se dejaron de quemar, durante la duración de la compensación y acreditación de la forma en que se eliminaron los residuos

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de cálculo aplicado

Una plantación agrícola de 51 ha dedicada a la producción de raps de 200 t/año, generan una cantidad de residuos agrícolas de 254 t/año.

Se utilizará la compostación aerobia para la producción de compost como método de reemplazo de la quema tradicional.

La tabla siguiente determina la reducción de emisiones lograda para las 254 t/año de residuos agrícolas que se dejan de quemar y se reutilizan en compostaje.

Tabla 4.2-7. Determinación de las emisiones reducidas

	Emisión directa reducida (t/año)	Emisión equivalente reducida (t/año)	Formula	Cálculo
MP ₁₀	1,45	1,45	Emisión directa = FE x Residuos anuales	254 x 0,0057
MP _{2,5}	1,37	1,37		254 x 0,0054
SO ₂	0,13	0,043	Emisión equivalente = Emisión directa x Emisión equivalente unitaria	(254 x 0,0005) x 0,34089
NO _x	0,58	0,069		(254 x 0,0023) x 0,11757
NH ₃	0,61	0,069		(254 x 0,0024) x 0,11339
Eq Emisión equivalente MP10/MP2,5 por SO₂, NO_x y NH₃		0,18	Emisión eq SO ₂ + Emisión eq NO _x + Emisión eq NH ₃	0,040 + 0,063 + 0,064
MP₁₀ equivalente		1,63	Emisión directa MP10 + Eq	1,33 + 0,17
MP_{2,5} Equivalente		1,55	Emisión directa MP2,5 + Eq	1,26 + 0,17
MP₁₀ equivalente por tonelada de residuo		0,0064	MP10 equivalente / residuos anuales a eliminar	1,63/254
MP_{2,5} Equivalente por tonelada de residuo		0,0061	MP2,5 equivalente / residuos anuales a eliminar	1,55/254

Como resultado del reemplazo de la quema de 254 t/año de residuos agrícolas, se obtiene una reducción de 1,63 t/año de MP₁₀ Equivalente y de 1,55 t/año de MP_{2,5} equivalente.

La emisión unitaria equivalente de reducción de 1 t/año de residuo agrícola que no se quema y se reutiliza es de 0,0064 t/año de MP₁₀ Equivalente y de 0,0061 t/año de MP_{2,5} equivalente.

Estas emisiones corresponden a combustión, por lo tanto, pueden ser utilizadas para compensar algún proyecto que requiera compensar sus emisiones de combustión.

4.3. Filtros DPF en maquinaria de construcción

Antecedentes, referencias y justificación para su aplicación en la Región Metropolitana

Una alternativa de compensación en este sector, para ser eficiente debería apuntar a las categorías más masivas en el segmento maquinaria de construcción: Retroexcavadoras (24,2%), Excavadoras (15,9%) y Cargadores Frontales (12,3%) con lo cual se alcanza el 52,4 del parque de maquinaria de construcción (Fuente: Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. 2014 – GEASUR).

Así, se determina que sería factible introducir filtros DPF en el 50% de este sector.

Descripción del mecanismo

Este mecanismo consiste en instalar filtros DPF (del inglés diesel particulate filter) en maquinaria de construcción

En la Tabla 4.3-1 se presenta el resumen de cumplimiento de criterios para este mecanismo de compensación

Tabla 4.3-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: filtros DPF en maquinaria de construcción

criterio	Detalle
Medible	Es factible realizar mediciones directamente en la fuente antes y después de la instalación del filtro DPF, específicamente en el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV).
Verificable	Se podrá verificar la instalación del filtro en la fuente. En cuanto a los niveles de actividad, los datalogger que acompañan a los filtros DPF registran las horas de operación.
Adicional	La maquinaria fuera de ruta en uso en la Región Metropolitana no está obligada a contar con un filtro DPF, salvo aquellos que prestan servicios al MOP. Por lo que el mecanismo es adicional.
Permanente	Siempre y cuando se realicen buenas mantenciones a los filtros, estos pueden tener una vida útil de 10 años

Fuente: *Elaboración propia.*

Ventajas y desventajas

A continuación, en la siguiente tabla, se listan las principales ventajas y desventajas del mecanismo de compensación presentado:

Tabla 4.3-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: filtros DPF para maquinaria de construcción

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> a) El mecanismo genera la reducción de emisiones de MP2,5 con énfasis en las partículas ultrafinas, siendo un 100% del MP10. b) Existen empresas instaladas en la región que se dedican a la instalación y mantención de este tipo de filtros. c) Reduce drásticamente el impacto directo de las emisiones MP en los trabajadores. d) Reducción de carbono negro, contaminante contemplado en la NDC de Chile. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Dependiendo de la cantidad de filtros que se requiera instalar el costo puede ser elevado. b) La maquinaria de construcción es muy diversa en tamaños potencias y usos, lo cual determina una gran variedad de filtros a utilizar, lo que requiere de mediaciones previas, pruebas y pilotos. El MMA ha avanzado en la implementación de pilotos con la maquinaria del MOP c) El seguimiento y fiscalización de la eficiencia real de esta medida resulta compleja.

Fuente: *Elaboración propia*

Metodología de cálculo de compensación

Para estimar la cantidad de máquinas de construcción que deberán incorporar filtros DPF, se deberá establecer una situación base considerando un nivel de actividad determinado y una situación considerando el uso de filtro DPF al mismo nivel de actividad, porque la incorporación del filtro no influirá en la tasa de utilización de la maquinaria de construcción.

Luego, se deberá calcular la emisión considerando la operación de la maquinaria de construcción sin filtro y la operación del mismo con el filtro DPF incorporado, determinar su diferencia, para de esta forma obtener la reducción unitaria de emisiones.

Finalmente, se deberán dividir las toneladas de contaminante a compensar por la reducción unitaria generada por el mecanismo para determinar la cantidad de máquinas de construcción que deberán incorporar filtros PDF para dar cumplimiento al PCE, de acuerdo a lo establecido en la RCA del proyecto.

Factores de Emisión

Dependiendo de la base de cálculo que se decida establecer, el factor de emisión para la maquinaria de construcción sin filtro deberá representar el tipo de norma de emisión que cumplen (Stage I, Stage II, Stage III A o Stage III B). Los factores de emisión en este caso quedarán expresados en gramos de MP por kilowatt hora (gr/kW h).

Para establecer el factor de emisión a utilizar se podrán utilizar valores debidamente referenciados o bien realizar mediciones de emisión en terreno con un método validado de medición de emisiones.

En el caso de utilizar valores de referencia, se podrán realizar los cálculos con los valores por defecto presentados en esta Guía, o algún otro documento debidamente referenciado.

De cualquier forma, en la siguiente tabla, se presenta el valor por defecto del factor de emisión para maquinaria de construcción, de acuerdo con lo recomendado en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana" elaborada por la Seremi del Medio Ambiente RM, donde se establecen los factores de emisión a utilizar

para diferentes rangos de potencia y para diferentes tecnologías:

Tabla 4.3-3. Factores de Emisión para Maquinaria Fuera de Ruta Diesel

Potencia [kW]	Tecnología	MP ₁₀ [g/kWh]	MP _{2,5} [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	SO _x [g/kWh]	NH ₃ [g/kWh]	CO [g/kWh]	COV [g/kWh]
P < 8	1991-Stage I	1,600	1,600	11,20	0,0081	0,002	5,000	2,500
	Stage V	0,400	0,400	6,080	0,0081	0,002	4,800	0,680
8 ≤ P < 19	1991-Stage I	1,600	1,600	11,20	0,0081	0,002	5,000	2,500
	Stage V	0,400	0,400	6,080	0,0081	0,002	3,960	0,680
19 ≤ P < 37	1991-Stage I	1,400	1,400	9,800	0,0079	0,002	4,500	1,800
	Stage II	0,400	0,400	6,500	0,0079	0,002	2,200	0,600
	Stage IIIA	0,400	0,400	6,080	0,0079	0,002	2,200	0,600
	Stage V	0,015	0,015	3,810	0,0079	0,002	2,200	0,420
37 ≤ P < 56	1991-Stage I	0,800	0,800	11,50	0,0078	0,002	4,500	1,500
	Stage I	0,400	0,400	7,700	0,0078	0,002	2,200	0,600
	Stage II	0,200	0,200	5,500	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIB	0,025	0,025	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage V	0,015	0,015	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,280
56 ≤ P < 75	1991-Stage I	0,800	0,800	11,50	0,0078	0,002	4,500	1,500
	Stage I	0,400	0,400	7,700	0,0078	0,002	2,200	0,600
	Stage II	0,200	0,200	5,500	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,810	0,0078	0,002	2,200	0,400
	Stage IIIB	0,025	0,025	2,970	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage IV	0,025	0,025	0,400	0,0078	0,002	2,200	0,280
	Stage V	0,015	0,015	0,400	0,0078	0,002	2,200	0,130
75 ≤ P < 130	1991-Stage I	0,400	0,400	13,30	0,0077	0,002	3,500	1,200
	Stage I	0,200	0,200	8,100	0,0077	0,002	1,500	0,400
	Stage II	0,200	0,200	5,200	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,200	0,200	3,240	0,0077	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	2,970	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage IV	0,025	0,025	2,970	0,0077	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	0,400	0,0077	0,002	1,500	0,130
130 ≤ P < 560	1991-Stage I	0,400	0,400	11,20	0,0075	0,002	2,500	0,500
	Stage I	0,200	0,200	7,600	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage II	0,100	0,100	5,200	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIA	0,100	0,100	3,240	0,0075	0,002	1,500	0,300
	Stage IIIB	0,025	0,025	1,800	0,0075	0,002	1,500	0,130
	Stage IV	0,025	0,025	0,400	0,0075	0,002	1,500	0,130
	Stage V	0,015	0,015	0,400	0,0075	0,002	1,500	0,130
560 < P	Stage V	0,045	0,045	3,500	0,0075	0,002	1,500	0,130

Fuente: Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana, versión octubre 2020. Elaborada por la Seremi del Medio Ambiente de la Región Metropolitana, que referencia EMEP EEA, Guidebook 2019, Non-road mobile sources and machinery.

Niveles de actividad

Para establecer los niveles de actividad existen diferentes opciones dependiendo del nivel de información y recursos que se posean. A modo referencial, se presenta a continuación algunos documentos de referencia que podrán ser consultados y referenciados para determinar los niveles de actividad:

- Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. 2014 – GEASUR. Utilizado de base para elaborar el AGIES de la norma de entrada que regula esta actividad.

Además de la fuente bibliográfica para buscar niveles de actividad, no se ha encontrado información más actualizada. Dada la alta variabilidad de las tasas de utilización de este tipo de maquinaria en la Región Metropolitana, se recomienda usar los valores por defecto de la tabla siguiente:

Tabla 4.3-4. Valor por defecto niveles de actividad para Maquinaria de Construcción en la Región Metropolitana

Tipo de maquinaria	NA [Hrs/año]
Plataforma telescópica	384
Tractores agrícolas y forestal	475
Perforador	466
Grúa telescópica	990
Dumper	566
Excavadoras	1092
Grúa Horquilla	1700
Motoniveladoras	962
Equip fell / bunch / skidders	1276
Camiones Fuera de Carretera	1641
Otro Equipo Agrícola	381
Otro material de construcción	606
Otros industrial general Equipo	878
Otro equipo del campo petrolífero	1231
Otro Equipo Para Minería Subterránea	1533
Asfaltadora	821
Rodillos	760
Grúa horquilla todo terreno	662
Bulldozer	899
Cargador Frontal	761
Minicargadoras	818
Quitanieve	40
Barredoras	1220
Tractores / Cargadores / Retroexcavadoras	1135
Zanjadoras	593

Fuente: Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. 2014 – GEASUR.

Consideraciones importantes

Para el mecanismo de instalación de filtros DPF en maquinaria de construcción se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Al momento de determinar el número de máquinas de construcción con filtros, si el resultado del cálculo da un número decimal, este se deberá aproximar al entero superior.
- ✓ La empresa a la cual pertenezcan las máquinas de construcción que incorporen filtros deberá firmar un compromiso de no remover los filtros DPF durante toda la vida útil restante de la maquinaria.

Plan de seguimiento

Si se determina realizar la compensación de emisiones mediante la instalación de filtros DPF en maquinaria de construcción, para dar cumplimiento al objetivo general de un plan de seguimiento, se deberá incluir lo que se presenta en la siguiente Tabla 4.3-5

Tabla 4.3-5. Acreditación plan de seguimiento: Filtros DPF para fuentes móviles

Ítem	Forma de acreditación
Acreditación de estado inicial de fuente a compensar	Listado de beneficiarios del programa Instalación de Filtros DPF en Maquinaria de Construcción, con la patente de cada máquina, que deberá ser registrado por el titular, con sus horas anuales de operación
Acreditación de la ejecución del PCE	A) Documento firmado por el/los beneficiario/s y el titular que dé cuenta de la correcta implementación del PCE. Se deberá incluir dentro de la redacción del documento la recepción conforme del filtro DPF, la asistencia a charla informativa que dé cuenta del motivo del PCE y de la capacitación respecto al uso del Filtro DPF que incluya la mantención del mismo. Además, el beneficiario se comprometerá a mantener el filtro DPF instalado en la Maquinaria durante toda su vida útil. B) Acreditar que los filtros DPF instalados en la maquinaria de construcción cumplen con las exigencias para su uso en zonas urbanas de la Región Metropolitana.
Frecuencia de reportes	Se considera que además de la entrega de un informe final de cumplimiento IFC, con todos los puntos anteriormente señalados, después de realizadas las instalaciones de los filtros DPF, se debe realizar reportes anuales, para verificar la mantención y uso de los filtros. El informe debe incluir los niveles de actividad expresados en horas de funcionamiento, según lo registra el datalogger del filtro DPF.

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo de cálculo aplicado

Luego de obtener su RCA favorable, un proyecto debe compensar 10 ton año de MP2,5. Para compensar sus emisiones, el titular del proyecto ha decidido utilizar el mecanismo de Instalación de Filtros DPF en Maquinaria de Construcción. Se determina la cantidad de material particulado fino (MP2,5) equivalente al total de emisiones a compensar de acuerdo con el cálculo siguiente:

Para determinar los factores de emisión y niveles de actividad a utilizar para el cálculo, se han considerado los valores por defecto presentados en la Tabla 4.4-3 y la 4.4-4, respectivamente. A partir de los factores de emisión y nivel de actividad presentados, se

muestra a continuación el cálculo para el caso base, que considera una retroexcavadora de 94 kW de potencia, que cumple norma 1991-Stage I:

$$Emisión_{Caso\ Base} = Horas \times Potencia \times FE_{Base}$$

$$Emisión_{Caso\ Base} = 1.135 \left(\frac{horas}{año} \right) \times 94 (kW) \times 0,4 \left(\frac{g\ MP2,5}{kW\ hora} \right) \times \frac{1\ t}{10^6\ g} = 0,043 \left(\frac{t\ MP2,5}{año-máquina} \right)$$

Luego, se presenta el cálculo para el caso con el filtro DPF incorporado. Se considera una eficiencia para el filtro DPF equivalente a 90% de reducción. A partir de las emisiones calculadas, se presenta el cálculo de la reducción unitaria de emisiones y, a partir de dicho valor, el cálculo de la cantidad de máquinas de construcción que deben incorporar filtros DPF para cumplir con las toneladas totales de contaminante a compensar:

$$Reducción\ Unitaria = Emisión\ caso\ base - Emisión\ con\ Mecanismo$$

$$Reducción\ Unitaria = 0,043 \left(\frac{t\ MP2,5}{año-máquina} \right) - (1 - ef\ DPF) = 0,0387 \left(\frac{t\ MP2,5}{año-máquina} \right)$$

$$Camiones\ a\ incorporar\ filtros = \frac{Toneladas\ a\ compensar}{Reducción\ Unitaria}$$

$$Camiones\ a\ incorporar\ filtros = \frac{10 \left(\frac{t\ MP2,5}{año} \right)}{0,0387 \left(\frac{t\ MP2,5}{año - máquina} \right)}$$

$$Camiones\ a\ incorporar\ filtros = \frac{Toneladas\ a\ compensar}{Reducción\ Unitaria}$$

Reducción unitaria = Emisión caso base - Emisión con mecanismo

Máquinas de Construcción a instalar PDF = Toneladas a compensar/Reducción unitaria

Máquinas de Construcción a instalar PDF = $10 (t\ MP2,5eq\ año) / 0,0387 (t\ MP2,5eq\ año - máquina)$

Máquinas de Construcción a instalar PDF = 259 (máquinas)

4.4. Filtros DPF en camiones recolectores de basura

Antecedentes, referencias y justificación para su aplicación en la Región Metropolitana

La instalación de filtros DPF en camiones recolectores de basura, es interesante porque son pocas las empresas que administran un número relevante de camiones y por lo tanto es factible su control e implementación, y el nivel de actividad es relevante.

Descripción del mecanismo

Este mecanismo de compensación consiste en la instalación de filtros DPF en camiones recolectores de basura.

En la Tabla 4.4-1 se presenta el resumen de cumplimiento de criterios para este mecanismo de compensación, el cual se puede utilizar como referencia para la elaboración del informe del PCE si se selecciona este mecanismo para compensar emisiones.

Tabla 4.4-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: filtros DPF en camiones recolectores de basura

Criterio	Detalle
Medible	Es factible realizar mediciones directamente en la fuente a reemplazar.
Verificable	Es posible verificar la instalación en terreno con fotos a presenta por los beneficiarios o visitas a terreno del interesado. Se puede verificar el kilometraje recorrido. Las empresas registran esta información. También se puede acceder al datalogger del filtro DPF, que indica las horas de operación.
Adicional	Los camiones recolectores de basura en la Región Metropolitana no están obligados a contar con un filtro DPF, por lo que el mecanismo es adicional.
Permanente	Siempre y cuando se mantenga en buenas condiciones, la vida útil de un filtro DPF puede alcanzar sin problemas 10 años.

Fuente: Elaboración propia

Ventajas y desventajas

A continuación, en la Tabla 4.4-2 se listan las principales ventajas y desventajas del mecanismo de compensación presentado:

Tabla 4.4-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: filtros DPF en camiones recolectores de basura

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> a) El mecanismo genera la reducción de emisiones de MP_{2,5} con énfasis en las partículas ultrafinas. b) Fácil implementación y seguimiento. La simplicidad de la implementación radica en que los camiones recolectores de basura cuentan con estándares muy similares en la región. c) Reduce el impacto directo de las emisiones MP en los trabajadores. d) Reducción de carbono negro, contaminante contemplado en la NDC de Chile. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Dependiendo de la cantidad de filtros que se requiera instalar el costo puede ser elevado. b) Existe un número limitado de camiones recolectores de basura en la Región Metropolitana. Se estima en menos de 1.000 unidades.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología de cálculo de compensación

Para estimar la cantidad de camiones recolectores de basura que deberán incorporar filtros DPF, se deberá establecer una situación base considerando un nivel de actividad determinado y una situación considerando el uso de filtro DPF al mismo nivel de actividad, porque la incorporación del filtro no influirá en la tasa de utilización de los camiones.

Luego, se deberá calcular la emisión considerando la operación del camión recolector sin filtro y la operación del mismo con el filtro DPF incorporado, determinar su diferencia, para de esta forma obtener la reducción unitaria de emisiones.

Finalmente, se deberán dividir las toneladas de contaminante a compensar por la reducción unitaria generada por el mecanismo para determinar la cantidad de camiones recolectores de basura que deberán incorporar filtros PDF para dar cumplimiento al PCE, de acuerdo a lo establecido en la RCA del proyecto.

Factores de Emisión

Dependiendo de la base de cálculo que se decida establecer, el factor de emisión para los camiones recolectores sin filtro deberá representar el tipo de norma de emisión que cumplen (Euro 1 hasta Euro 5). No se consideran aquellos que cumplen norma Euro 6 porque cuentan con filtro DPF incorporado). Los factores de emisión en este caso quedarán expresados en gramos de MP por kilómetro (gr/km)

Para establecer el factor de emisión a utilizar se podrán utilizar valores debidamente referenciados o bien realizar mediciones de emisión en terreno con un método validado de medición de emisiones. En el caso de utilizar valores de referencia, se podrán realizar los cálculos con los valores por defecto presentados en esta Guía, o algún otro documento debidamente referenciado. De cualquier forma, en la siguiente se presenta el valor por defecto del factor de emisión para camiones recolectores Euro 3 de esta Guía, obtenidos de acuerdo con la referencia indicada en la siguiente tabla

Tabla 4.4-3. Valor por defecto factor de emisión de Camiones Recolectores de Basura

	PM	NOx	CO	CO2
	gr/km	gr/km	gr/km	gr/km
Euro 3	1,43	4,14	6,27	3.009

Nota: Las referencias disponibles solo permiten contar con un factor de emisión para camiones Euro 3.

Niveles de Actividad

Para establecer los niveles de actividad existen diferentes opciones dependiendo del nivel de información y recursos que se posean. A modo referencial, se presenta a continuación algunos documentos de referencia que podrán ser consultados y referenciados para determinar los niveles de actividad:

- No se ha identificado ninguna referencia que establezca el nivel de actividad para Camiones Recolectores de Basura de la Región Metropolitana.
- Para superar la ausencia de referencias bibliográficas, se realizó una entrevista al gerente de la empresa DEMARCO.

Además de las fuentes bibliográficas para buscar niveles de actividad, se presenta en la tabla siguiente el valor por defecto a considerar para efectos de esta Guía:

Tabla 4.4-4. Valor por defecto niveles de actividad para camiones recolectores de basura en la Región Metropolitana

Región	Nivel de Actividad (km/año)
Región Metropolitana	25.000

Consideraciones Importantes

Para el mecanismo de recambio de calefactores se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Al momento de determinar el número de camiones recolectores a equipar con filtros, si el resultado del cálculo da un número decimal, este se deberá aproximar al entero superior.
- La empresa a la cual pertenezcan los camiones recolectores que incorporen filtros deberá firmar un compromiso de no remover los filtros DPF durante toda la vida útil restante de los camiones.

Plan de seguimiento

Si se determina realizar la compensación de emisiones mediante la instalación de techos verdes para dar cumplimiento al objetivo general de un plan de seguimiento, se deberá incluir lo que se presenta en la Tabla 4.4-5

Tabla 4.4-5. Acreditación plan de seguimiento: filtros DPF en camiones recolectores de basura

Ítem	Forma de acreditación
Acreditación de estado inicial de fuente a compensar	Listado de beneficiarios del programa Instalación de Filtros DPF en Camiones Recolectores de Basura, con la patente de cada camión, que deberá ser registrado por el titular.
Acreditación de la ejecución del PCE	Documento firmado por el/los beneficiario/s y el titular que dé cuenta de la correcta implementación del PCE. Se deberá incluir dentro de la redacción del documento la recepción conforme del filtro DPF, la asistencia a charla informativa que dé cuenta del motivo del PCE y de la capacitación respecto al uso del Filtro DPF que incluya la mantención del mismo. Además, el beneficiario se comprometerá a mantener el filtro DPF instalado el camión durante toda su vida útil. Acreditar que los filtros DPF instalados en los camiones recolectores de basura cumplen con las exigencias para su uso en zonas urbanas de la Región Metropolitana, establecidas por el MTT.
Frecuencia de reportes	Se considera que además de la entrega de un informe final de cumplimiento IFC, con todos los puntos anteriormente señalados, después de realizadas las instalaciones de los filtros DPF, se debe realizar reportes anuales, para verificar la mantención y uso de los filtros. Se debe incorporar en los reportes el kilometraje recorrido por los camiones, esta información es registrada por la empresa. También se debe incorporar el registro de las horas de operación del datalogger.

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de cálculo aplicado

Luego de obtener su RCA favorable, un proyecto debe compensar **10 t año de MP2,5**. Para compensar sus emisiones, el titular del proyecto ha decidido utilizar el mecanismo de Instalación de Filtros DPF en Camiones Recolectores de Basura. Se determina la cantidad de material particulado fino (MP2,5) equivalente al total de emisiones a compensar de acuerdo con el cálculo siguiente:

Para determinar los factores de emisión y niveles de actividad a utilizar para el cálculo, se han considerado los valores por defecto presentados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, respectivamente. A partir de los factores de emisión y nivel de actividad presentados, se muestra a continuación el cálculo para el caso base, que considera un camión recolector de basura convencional que cumple con estándar Euro 3 (valores por defecto para factor de emisión y nivel de actividad presentados en esta Guía):

$$Emisión_{Caso\ Base} = FE_{Base} \times NA_{Base}$$

$$Emisión_{Caso\ Base} = 1,43 \left(\frac{g\ MP2,5}{km} \right) \times 25.000 \left(\frac{km}{año-camión} \right) \times \frac{1\ t}{10^6\ g} = 0,036 \left(\frac{t\ MP2,5}{año-camión} \right)$$

Luego, se presenta el cálculo para el caso con el filtro DPF incorporado. Se considera una eficiencia para el filtro DPF equivalente a 90% de reducción. A partir de las emisiones calculadas, se presenta el cálculo de la reducción unitaria de emisiones y, a partir de dicho valor, el cálculo de la cantidad de camiones que deben incorporar filtros DPF para cumplir con las toneladas totales de contaminante a compensar:

$$Reducción\ Unitaria = Emisión\ caso\ base - Emisión\ con\ Mecanismo$$

$$Reducción\ Unitaria = 0,036 \left(\frac{t\ MP2,5}{año-camión} \right) - (1 - ef\ DPF) = 0,032 \left(\frac{t\ MP2,5}{año-camión} \right)$$

$$Camiones\ a\ incorporar\ filtros = \frac{Toneladas\ a\ compensar}{Reducción\ Unitaria}$$

$$Camiones\ a\ incorporar\ filtros = \frac{10 \left(\frac{t\ MP2,5}{año} \right)}{0,032 \left(\frac{t\ MP2,5}{año - camión} \right)}$$

$$Camiones\ a\ incorporar\ filtros = \frac{Toneladas\ a\ compensar}{Reducción\ Unitaria}$$

- Reducción unitaria = Emisión caso base – Emisión con mecanismo
- Camiones recolectores a incorporar filtro DPF = Toneladas a compensar/Reducción unitaria
- Camiones recolectores a incorporar filtro DPF = 10 (t MP2,5eq año) /0,032 (t

MP2,5eq año – camión)

- Camiones recolectores a incorporar filtro DPF = 313 (camiones)

4.5. Recambio de motocicletas convencionales por motocicletas eléctricas

Antecedentes, referencias y justificación para su aplicación en la Región Metropolitana

En el caso de las motocicletas, se pretende evaluar es el recambio de motocicletas con motor a gasolina por eléctricas de cero emisiones, enfocándose en aquellas que prestan servicios de delivery (alto nivel de actividad y fácilmente identificables).

Descripción del mecanismo y justificación

En la Tabla 4.5-1 se presenta el resumen de cumplimiento de criterios para este mecanismo de compensación, el cual se puede utilizar como referencia para la elaboración del informe del PCE si se selecciona este mecanismo para compensar emisiones.

Tabla 4.5-1. Resumen cumplimiento de criterios mecanismo de compensación: recambio motocicletas

Criterio	Detalle
Medible	Es factible realizar mediciones directamente en la fuente a reemplazar.
Verificable	Para verificar la reducción de emisiones, se pueden realizar mediciones antes, la motocicleta de reemplazo no tiene emisiones por tubo de escape. Con posterioridad se puede realizar seguimiento del kilometraje recorrido.
Adicional	Un usuario de motocicleta convencional en la Región Metropolitana no está obligado a reemplazar la motocicleta, por lo que el mecanismo es adicional.
Permanente	Siempre y cuando se mantenga en buenas condiciones, la vida útil de una motocicleta eléctrica se extenderá por un tiempo al menos igual o superior a la cantidad de años que el proyecto deberá compensar sus emisiones.

Fuente: Elaboración propia.

Ventajas y desventajas

A continuación, en la siguiente tabla, se listan las principales ventajas y desventajas del mecanismo de compensación presentado:

Tabla 4.5-2. Ventajas y desventajas mecanismo de compensación: recambio de motocicletas

Ventajas	Desventajas
a) El mecanismo genera la reducción de emisiones de MP _{2,5} y gases. b) Fácil implementación, seguimiento y eliminación de las motos antiguas mediante chatarrización. c) Además de eliminar la generación de contaminación a la atmósfera en zonas urbanas, reduce emisiones de CO ₂ , reduce en forma significativa el ruido	a) Dependiendo de la cantidad de motocicletas a cambiar, su costo puede ser muy elevado. a) Requiere eventualmente la instalación de puntos de recarga en lugares con alta afluencia de motos de delivery.

<p>ambiental y reduce el impacto de las emisiones sobre el mismo usuario.</p> <p>a) Aumenta la eficiencia energética y reduce los costos de operación y mantención para el beneficiario del recambio.</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

Metodología de cálculo de compensación

Para estimar la cantidad de motocicletas convencionales que se deberán cambiar por motocicletas eléctricas, se deberá establecer una situación base considerando un nivel de actividad determinado y una situación considerando el mecanismo seleccionado a un nivel de actividad, que podrá ser el mismo que en el caso base o uno diferente, siempre y cuando se establezcan claramente los supuestos y consideraciones para realizar los cálculos.

Luego, se deberá calcular la emisión considerando la operación de la motocicleta convencional y la operación de la motocicleta eléctrica y determinar su diferencia, para de esta forma obtener la reducción unitaria de emisiones. En este caso, dado que recambio se realiza por un equipo eléctrico que no generan emisiones atmosféricas, la reducción unitaria será igual a la emisión unitaria de la motocicleta convencional.

Finalmente, se deberán dividir las toneladas de contaminante a compensar por la reducción unitaria generada por el mecanismo para determinar la cantidad de motocicletas que se deberán cambiar para dar cumplimiento al PCE, de acuerdo a lo establecido en la RCA del proyecto.

Factores de Emisión

Se han considerado los factores de emisión más actualizados incorporados en MODEM 6, los cuales corresponden originalmente al Copert 5.2.

Tabla 4.5-3. Valor por defecto factor de emisión de motocicleta convencional

	CO2 gr/km	NOx gr/km	PM10 gr/km	PM2,5 gr/km	VOC gr/km
Motocicletas de 4 tiempos sin norma	133,738	0,242	0,030	0,025	3,117
Motocicletas de 4 tiempos Euro 1	122,499	0,234	0,030	0,025	1,631
Motocicletas de 4 tiempos Euro 2	110,656	0,079	0,015	0,010	0,725
Motocicletas de 4 tiempos Euro 3	192,353	0,059	0,015	0,010	0,206
Motocicletas de 4 tiempos Euro 4	147,135	0,019	0,015	0,010	0,058
Motocicletas de 4 tiempos Euro 5	147,135	0,013	0,015	0,010	0,039

Niveles de Actividad

Para establecer los niveles de actividad existen diferentes opciones dependiendo del nivel de información y recursos que se posean. A modo referencial, se presenta a continuación algunos documentos de referencia que podrán ser consultados y referenciados para determinar los niveles de actividad:

- I. Encuesta de elaboración propia, realizada específicamente a motocicletas que trabajan realizando delivery. (ver anexo 1)
- II. Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana (USACH, 2014).

Además de las fuentes bibliográficas para buscar niveles de actividad, se presenta en la siguiente tabla, el valor por defecto a considerar para efectos de esta Guía:

Tabla 4.5-4. Valor por defecto niveles de actividad para motocicletas de Delivery en la Región Metropolitana

Región	Nivel de Actividad (km/año)
Región Metropolitana	43.360

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta

Consideraciones Importantes

Para el mecanismo de recambio de calefactores se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Al momento de determinar el número de Motocicletas a recambiar, si el resultado del cálculo da un número decimal, este se deberá aproximar al entero superior.
- El titular que decida realizar la compensación de sus emisiones por medio de este mecanismo será el responsable asegurar la chatarrización y eliminación de las motos convencionales a gasolina recambiadas.
- El beneficiario que reciba la motocicleta eléctrica deberá firmar un compromiso mediante el cual autorice a la empresa para chatarrizar la motocicleta convencional.

Plan de seguimiento

Si se determina realizar la compensación de emisiones mediante la pavimentación de calles, para dar cumplimiento al objetivo general de un plan de seguimiento, se deberá incluir lo que se presenta en la Tabla 4.5-5

Tabla 4.5-5. Acreditación plan de seguimiento: recambio de motocicletas

Ítem	Forma de acreditación
Acreditación de estado inicial de fuente a compensar	Listado de beneficiarios del programa de recambio de Motocicletas con imágenes de las motocicletas convencionales a cambiar y con la patente de cada una de ellas, que deberá ser registrado por el titular.
Acreditación de la ejecución del PCE	<p>A) Documento firmado por el/los beneficiario/s y el titular que dé cuenta de la correcta implementación del PCE. Se deberá incluir dentro de la redacción del documento la recepción conforme de la nueva motocicleta, la asistencia a charla informativa que dé cuenta del motivo del PCE y de la capacitación respecto al uso de la motocicleta eléctrica. Además, el beneficiario se comprometerá a dar un correcto uso a la motocicleta nueva durante un tiempo mayor o igual al período a compensar por parte del proyecto.</p> <p>B) Con el fin de asegurar que la motocicleta antigua no será utilizada en el futuro, se deberá acreditar la eliminación de la misma. Para esto, se deberá incluir el certificado firmado por la empresa a cargo de la chatarrización, considerando la placa patente de cada una de las motocicletas, lo que podrá acreditarse en el mismo certificado y que se incluya una fotografía de referencia del proceso de chatarrización.</p> <p>C) Acreditar que la motocicleta nueva cumpla con las exigencias para su uso en zonas urbanas de la Región Metropolitana (patente, permiso de circulación, etc.).</p>
Frecuencia de reportes	Se considera la entrega de un informe final de cumplimiento

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo de cálculo aplicado

Luego de obtener su RCA favorable, un proyecto debe compensar 10 ton año de NOx. Para compensar sus emisiones, el titular del proyecto ha decidido utilizar el mecanismo de recambio de Motocicletas. En este caso se ha determinado realizar el recambio de motocicletas convencionales a gasolina por motocicletas eléctricas. Se determina la cantidad de NOx equivalente al total de emisiones a compensar de acuerdo con el cálculo siguiente:

Para determinar los factores de emisión y niveles de actividad a utilizar para el cálculo, se han considerado los valores por defecto presentados en la tabla 4.5-3 y la tabla 4.5-4, respectivamente. A partir de los factores de emisión y nivel de actividad presentados, se muestra a continuación el cálculo para el caso base, que considera una motocicleta convencional a gasolina (valores por defecto para factor de emisión y nivel de actividad presentados en esta Guía):

$$Emisión_{Caso\ Base} = FE_{Base} \times NA_{Base}$$

$$Emisión_{Caso\ Base} = 0,234 \left(\frac{g\ NOx}{km} \right) \times 43.360 \left(\frac{km}{año-moto} \right) \times \frac{1\ t}{10^6\ g} = 0,01015 \left(\frac{t\ NOx}{año-moto} \right)$$

Luego, se presenta el cálculo para el caso con el mecanismo. Se considera que la motocicleta eléctrica no genera emisiones de NOx. A partir de las emisiones calculadas, se presenta el cálculo de la reducción unitaria de emisiones y, a partir de dicho valor, el

cálculo de la cantidad de motocicletas a cambiar para cumplir con las toneladas totales de contaminante a compensar:

$$\text{Reducción Unitaria} = \text{Emisión caso base} - \text{Emisión con Mecanismo}$$

$$\text{Reducción Unitaria} = 0,01015 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año-moto}} \right) - 0 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año-moto}} \right) = 0,01015 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año-moto}} \right)$$

$$\text{Motocicletas a cambiar} = \frac{\text{Toneladas a compensar}}{\text{Reducción Unitaria}}$$

$$\text{Motocicletas a cambiar} = \frac{10 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año}} \right)}{0,01015 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año} - \text{moto}} \right)}$$

$$\text{Motocicletas a cambiar} = \frac{\text{Toneladas a compensar}}{\text{Reducción Unitaria}}$$

- Reducción unitaria = Emisión caso base – Emisión con mecanismo
- Motocicletas a cambiar = Toneladas a compensar/Reducción unitaria
- Motocicletas a cambiar = $10 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año}} \right) / 0,01015 \left(\frac{t \text{ NOx}}{\text{año} - \text{equipo}} \right)$
- Motocicletas a cambiar = 986 (motos)

Es importante señalar en este caso que además de la reducción de NOx, se logra una reducción significativa de HC y de partículas ultrafinas, las cuales son tan pequeñas que aportan poco en masa pero mucho en N° de partículas: $6,43 \times 10^{11}/\text{km}$ (según referencia que se incluye en el anexo)

5. ESTIMACION DE COSTOS

Tabla 4.5-1. Actualización de costos Guía 2019

Mecanismo	N° elementos para compensar 1 t/año de contaminante		Rango de costos aproximado mecanismo		Rango de costos totales aproximado	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1) Recambio de calefactores	53	estufas a pellet	17,8 - 28,3	UF/estufa a pellet	943,4 - 1.499,9	UF/ 1 t/año de MP2,5
	46	split eléctrico	39,0	UF/estufa a pellet	1.794	UF/ 1 t/año de MP2,5
2) Chatarrización de camiones	13	camiones	315 - 430	UF/camión	4.095 - 5.590	UF/ 1 t/año de MP2,5
3) Filtro para fuente fija industrial	7	filtros industriales	283 - 360	UF/filtro industrial	1.981 - 2.520	UF/ 1 t/año de MP2,5
4) Filtro DPF para fuente móvil	77	filtros DPF	138 - 147	UF/filtro DPF	10.626 - 11.319	UF/ 1 t/año de MP2,5
5) Regeneración de sistema SCR para fuentes móviles	3	Buses	212,6	UF/regeneración	638	UF/ 1 t/año de NOx
5) Regeneración de sistema SCR para fuentes móviles	3	Buses	212,6	UF/regeneración	5.425	UF/ 1 t/año de MP2,5
6) Mejoras tecnológicas para calderas domiciliarias e industriales	1	Caldera ignotubular. Caso aplicado a Hospital del Salvador	-	-	1.000	UF/ 1 t/año de NOx
6) Mejoras tecnológicas para calderas domiciliarias e industriales	1	Caldera ignotubular. Caso aplicado a Hospital del Salvador	-	-	8.506	UF/ 1 t/año de MP2,5
7) Techos y/o muros verdes	2.854	m2 de techo verde	3,5	UF/m2	9.989	UF/ 1 t/año de MP2,5
	9.513	m2 de muro verde	6,0	UF/m2	57.078	UF/ 1 t/año de MP2,5
8) Pavimentación de calles	7	metros	21,6	UF/metro	143	UF/ 1 t/año de MP10

Tabla 5-2. Estimación de costos de nuevas alternativas

Mecanismo	N° elementos para compensar 1 t/año de contaminante		Rango de costos aproximado mecanismo		Rango de costos totales aproximado	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1) Filtro SCR para abatir NOx en Grupos Electrógenos	0,76	GE de 1820 KW	3666	UF/kW	2786	UF/ 1 t/año de MP2,5
2) Compostaje de residuos agrícolas	164	toneladas sustituidas de residuos vegetacionales	0,29	UF/ton	47,56	UF/ 1 t/año de MP2,5
3) Recambio de Motos convencionales por Eléctricas	99	Motos electricas	65 -95	UF/moto	6435 - 9405	UF/ 1 t/año de NOx
4) Instalación de Filtro DPF en Maquinaria de Construcción	26	Filtros DPF instalados en retroexcavadora	170,0	UF/filtro	4.420	UF/ 1 t/año de MP2,5
5) Instalación de Filtro DPF en Camiones Recolectores de Basura	32	Filtros DPF instalados en camiones recolectores de basura	230,0	UF/filtro	7.360	UF/ 1 t/año de MP2,5

6. BIBLIOGRAFÍA

AGIES-MMA. (2016). Actualización para proyecto definitivo del análisis general del impacto económico y social del Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana. Departamento de Economía Ambiental - Ministerio de Medio Ambiente.

AIChE. (2013). Process burners 101. American Institute of Chemical Engineers.

AP42, US-EPA. (1993). Procedures for sampling surface/bulk dust loading. Appendix C.1. ARCADIS. (2018). Programa de compensación de emisiones de óxidos de nitrógeno (Actualización). Santiago.

BS Consultores. (2015). Informe final servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental.

CDT. (2012). Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago. Santiago: Ministerio de Energía.

CDT. (2015). Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. CChC para el Ministerio de Energía.

Centro Mario Molina. (2009). Diseño integral de un programa de chatarrización de camiones. Santiago.

Conama. (2009). Programa piloto para el sistema de compensaciones de la Región Metropolitana - Diseño de metodologías de compensación de emisiones para chatarrización de fuentes móviles. Santiago: Luis Abdón Cifuentes Lira.

CONAMA Metropolitana de Santiago (2005). Plan Verde.

DFM - Del Favero Meneses Consultores Ambientales (2019). Guía de Alternativas de Compensación de Emisiones para Fuentes de Combustión. Santiago.

DICTUC. (2007). Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana. Región Metropolitana: Comisión Nacional del Medio Ambiente.

DICTUC. (2009). Diseño de metodologías de compensación de emisiones para chatarrización de fuentes móviles. Santiago.

DTP. (2019). Informe de gestión 2018. Santiago.

EEA - 1.A.3.b. (2016). 1.A.3.b - Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motorcycles. En EMEP/EEA, EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (págs. 35-35).

EEA. (2016). EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook - Update July 2018. Luxemburgo: European Environment Agency - European Union.

GEASUR (2014). Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. Ministerio del Medio Ambiente, División de Calidad del Aire y Cambio Climático.

ISP. (2012). Método CH-5G: Determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución. Ministerio de Salud Pública, Gobierno de Chile.

ISPCH. (2012). Método CH-5: Determinación de las emisiones de partículas desde fuentes estacionarias. Instituto de Salud Pública, Ministerio de Salud, Gobierno de Chile.

Johannessen, T. (15 de 03 de 2015). Berlin: Direct Ammonia SCR: The Optimal Solution for Real Driving Emissions. Obtenido de Vert Forum: https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/VERT_FORUM_2018/day1/13_Johanessen-VERT-Forum-2018.pdf

Johannessen, T. (15 de 03 de 2018). Solid ammonia technology for near-zero polluting diesel vehicles. Obtenido de VERT: https://www.vert-dpf.eu/j3/images/pdf/VERT_FORUM_2018/day1/13_Johanessen-VERT-Forum-2018.pdf

Leyman (2021). Clean cities, clean air with garbage trucks on hydrogen, Layman Report 2021.

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Aprueba bases administrativas, técnicas y documentos anexos para la licitación pública del contrato denominado "Guía de alternativas de compensación de emisiones para fuentes de combustión".

MINVU. (2007). Programa de inversión pública para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque construido de viviendas. Ambiente Consultores Ltda - PRIEN, Universidad de Chile.

MINVU. (2019). Fija nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

MMA. (2017). Manual para el desarrollo de inventarios de emisiones atmosféricas. Santiago: Departamento de Economía Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente.

MMA. (2021). Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Ciudad de Calama y su Área Circundante. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Muñoz, D., & Barros, M. d. (2019). Por qué las azoteas vivas, verdes y activas son una estrategia de regeneración y resiliencia urbana atractiva, eficaz y rentable. Santiago: Azoteas Vivas - VerdeActivo.

NSW Environment Protection Authority - NSW EPA (2002). Green offsets for sustainable development. New South Wales Government, Australia.

Reşitoğlu, İ., Altinişik, K., & Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Merisn: Springer.

Seremi de Salud. (1994). Establece procedimiento de declaración de emisiones para fuentes estacionarias que indica. Santiago: Resolución 15.027.

Seremi MA. (2012). Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la Región Metropolitana. Santiago: Sección Asuntos Atmosféricos, Seremi Medio Ambiente Región Metropolitana.

Seremi MA (2020). Guía para la estimación de emisiones atmosféricas en la Región Metropolitana, versión Octubre 2020.

SISTAM Ingeniería (2016). Banco Alternativas de Compensación de Emisiones de MP10 en el polígono de la zona saturada de Andacollo.

SMA. (2014). Evaluación del instrumento de compensación de emisiones Región Metropolitana. Santiago: División de Gestión e Innovación - Superintendencia de Medio Ambiente.

South Coast Air Quality Management District (2019). Rule 1610 – Regional Clean Air Incentives Market – RECLAIM (Disponible en <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xvi/rule-1610-old-vehicle-scrapping.pdf>)

South Coast Air Quality Management District (2019). Rule 1612 – Regional Clean Air Incentives Market – RECLAIM (Disponible en <https://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xvi/rule-1612.pdf?sfvrsn=4>)

Subsecretaría de Transportes. (-). Guía para la instalación de sistemas de post tratamiento de emisiones en buses de Transantiago. Santiago: Gobierno de Chile - Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV).

Tuyen et al. (2021) Updating emission factors for in-use motorcycles fueled by gasoline, E5 and E10 in vietnam.

- UACH. (2013). Encuesta de consumo energético para el sector residencial.
- USACH. (2014). Actualización y sistematización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana. Santiago.
- USACH. (2014). Actualización y sistematización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana. Santiago: Departamento de Física.
- USACH. (2017). Programa piloto para la implementación de sistemas de post tratamiento de emisiones para material particulado en maquinaria de construcción, Informe Final. Ministerio del Medio Ambiente.
- Vera, S.; Victorero, F., Viecco, M., Jorquera, G., Dobbs, C., Bustamante, W., Bonilla, C., Gironás, J. (2018) Solicitud Patente N°201803445 FONDEF ID15I10104. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., & Leiva, E. (2018). Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. MDPI - Sustainability.
- Way, P., Viswanathan, K., Preethi, P., Gilb, A., Zambon, N., & Blaisdell, J. (2009). SCR performance optimization through advancements in aftertreatment packaging. SAE-Worldcongress.
- Yang, J., YU, Q., & Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Elsevier.