

UCH-FC
Q. Ambiental
B 826
C 1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**"PLAN DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES ATMOSFERICAS DE MP_{10} y NO_x ,
PRODUCIDAS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION DE PROYECTOS INMOBILIARIOS
QUE INGRESAN AL SEIA, UN CASO DE ESTUDIO"**

Seminario de título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de:

Química Ambiental

Yenderi Ailin Bravo Vergara

Director de Seminario: Jorge Salazar Bacovich

Profesor Patrocinante: Dr. Richard Toro

Agosto 2014

Santiago - Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

YENDERI AILIN BRAVO VERGARA

"PLAN DE COMPENSACIÓN PARA EMISIONES ATMOSFERICAS DE MP_{10} y NO_x PRODUCIDAS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION DE PROYECTOS INMOBILIARIOS QUE INGRESAN AL SEIA, UN CASO DE ESTUDIO"

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Jorge Salazar Bacovich.
Director Seminario de Título



Dr. Richard Toro.
Profesor Patrocinante

Dr. Manuel Leiva.
Presidente

Profesor Julio Hidalgo.
Corrector

Santiago de Chile, Diciembre 2014



Yenderi Ailin Bravo Vergara, nacida el 17 de mayo de 1989, luego de finalizar sus estudios de enseñanza media, ingresó al preuniversitario Cepech con el objetivo de cumplir su meta; ser parte de una Universidad estatal al igual que sus dos hermanas mayores, y estudiar una carrera relacionada con las Ciencias Naturales. Fue así como en el año 2008 se matriculó en la Carrera de Química Ambiental en la Universidad de Chile, profesión que para ella significó una excelente mezcla entre sus gustos por la química y el cuidado del Medio Ambiente.

Durante el año 2012, realizó su Unidad de Investigación en el laboratorio de Química Inorgánica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, que llevó por nombre “Estudio electroquímico y espectroelectroquímico de la sustitución nucleofílica aromática del fluorodinitrobenceno con butilamina en acetonitrilo y en el líquido iónico BMIMBF₄” en donde amplió sus conocimientos sobre la Electroquímica.

Siendo estudiante complementó sus estudios con clases de natación impartidas en la Piscina Templada de la Universidad de Chile y luego en la Piscina Templada del Estadio Nacional, en donde se propuso algunos desafíos siendo partícipe de algunas competencias realizadas en ambas piscinas.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a mis padres, por su apoyo incondicional durante esta importante etapa de mi vida, porque gracias a todos los valores que me han entregado he llegado a ser lo que soy. A mi hermana Melanie por entregarme ese cariño especial, por escucharme cada vez que lo necesité y por compartir conmigo tanto los días buenos como los no tan buenos. También quiero agradecer a mis hermanas mayores Angie y Mayer por entregarme su cariño y las alegrías más grandes que son mis tres sobrinas; Sarita, Laurita e Inés.

A mi pareja Patricio, quien estuvo presente durante todos estos años, gracias por el amor entregado que día a día me dio las energías para lograr una de las metas más importantes de mi vida.

A mis compañeras de Universidad, Kora, Katy, Pancha y Kote, quienes se convirtieron en mis mejores amigas, con quienes compartí todas las penas y alegrías durante estos años, gracias por el apoyo, la confianza y el cariño que me entregaron.

Quiero agradecer también a la consultora Sustentable S.A por haberme dado la posibilidad de realizar mi Seminario de Título, a mi director de tesis Jorge Salazar, gracias por entregarme los conocimientos necesarios para desarrollar este trabajo, por la buena disposición y el apoyo entregado durante los meses en que desarrollé mi Seminario de Título.

Por último agradecer a los profesores Richard Toro, Manuel Leiva, Julio Hidalgo, Silvia Copaja, Marisol Aravena y a todos los profesores, docentes y académicos que me ayudaron durante mi formación como profesional.

INDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN	1
1. Antecedentes generales	1
1.1 Contaminación ambiental	1
1.1.1 Contaminantes atmosféricos	2
1.1.2 Fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos.	3
1.2 Institucionalidad Ambiental en Chile	4
1.2.1 Historia	4
1.2.2 Organismos y Normativas	5
1.2.3 Instrumentos de Gestión Ambiental	5
1.3 Plan de Compensación de Emisiones	6
1.3.1 Historia	6
1.3.2 Definición	7
1.3.3 Diseño	7
1.3.4 Lugar y superficie	10
1.3.5 Normativa ambiental	11
1.3.6 Fiscalización y Seguimiento	11
1.4 Medidas de Compensación	12
1.4.1 MP ₁₀	12
1.4.2 NO _x	15
2. Antecedentes específicos	17
2.1 Proyectos Inmobiliarios.	18
2.1.1 Etapa de construcción	19
2.1.2 Normativa en Chile	21
2.2 Estimación de emisiones atmosféricas.	22
2.3 Factores de emisión actualizados	23
3. Propuesta de Seminario de Título	23
II. OBJETIVOS	25
2. Objetivo general y específicos	25
2.1 Objetivo general	25

2.2 Objetivos específicos	25
III. DISEÑO METODOLÓGICO	26
3. Selección del proyecto inmobiliario de la rm como caso de estudio	26
3.1 Criterios de selección	26
3.2 Datos del proyecto	26
3.3 Metodología para la estimación de emisiones de MP₁₀ Y NO_x.	28
3.3.1 Factores de emisión MP ₁₀	28
3.3.2 Factores de emisión NO _x	31
3.4 Diseño de PCE para propuesta	32
3.4.1 Metodología para la estimación de las emisiones de MP ₁₀ Y NO _x , en base a medidas del PCE que será propuesto.	33
3.5 Metodología para la descripción, evaluación y comparación del costo y beneficio ambiental de los pce convencionales para MP₁₀ Y NO_x.	33
3.5.1 Chatarrización	34
3.5.2 Pavimentación	34
3.5.3 Forestación	35
3.6 Metodología para la recomendación de mejoras en la gestión ambiental de los PCE.	37
IV. RESULTADOS	38
4.1 Antecedentes del proyecto Inmobiliario	38
4.1.1 Ubicación del proyecto	38
4.1.2 Cronograma de actividades del Proyecto Inmobiliario	39
4.2 Estimación de emisiones producidas en la etapa de construcción, en base a la metodología de la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM".	41
4.2.1 Estimación de las emisiones de MP ₁₀	41
4.2.2 Resumen de los resultados del cálculo de emisiones de MP ₁₀	47
4.2.3 Estimación de emisiones de NO _x generadas por camiones y maquinarias	48
4.2.4 Emisiones totales de MP ₁₀ y NO _x en base a la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM".	49
4.3 PCE propuesto.	51

4.3.1 Descripción de las medidas de compensación del PCE propuesto	51
4.3.2 Factores de emisión de MP ₁₀ y NO _x para la excavadora y camiones pesados	53
4.3.3 Estimación de emisiones de MP ₁₀ producto de la actividad de excavación.	53
4.3.4 Estimación de las emisiones de MP ₁₀ y NO _x producto de la combustión de camiones y maquinarias.	54
4.3.6 Resultados de la estimación de emisiones de NO _x y MP ₁₀ generadas por la combustión de motores de camiones y maquinarias.	55
4.3.7 Resumen de emisiones de NO _x y MP ₁₀ en base al PCE propuesto.	56
4.4 Comparación de los resultados de las estimaciones realizadas en base a la metodología de la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM" y del PCE propuesto.	56
4.5 PCE convencionales utilizados para compensar las emisiones de MP₁₀ y NO_x en la RM.	59
4.5.1 La forestación para compensar emisiones de MP ₁₀ .	59
4.5.2 La pavimentación para compensar emisiones de MP ₁₀ .	63
4.5.3 La chatarrización para compensar emisiones de NO _x .	63
4.6 Comparación del costo económico de los PCE convencionales con el propuesto.	66
V. DISCUSIÓN	67
5.1 Análisis de los PCE convencionales para compensar emisiones de NO_x y MP₁₀.	67
5.1.1 Análisis de la forestación como medida de compensación de emisiones de MP ₁₀ .	67
5.1.2 Análisis de la pavimentación como Plan de Compensación de emisiones de MP ₁₀ .	69
5.1.3 Análisis de la chatarrización como Plan de compensación de emisiones de NO _x .	69
5.2 Análisis del PCE propuesto para compensar emisiones de NO_x y MP₁₀.	70
5.2.1 Actualización de los factores de emisión para camiones pesados.	70
5.2.2 Renovación de maquinarias.	71
5.2.3 Actualización de los factores de emisión de maquinarias.	71

5.3 Comparación del costo y beneficio de los PCE convencionales con el propuesto. _____	73
VI. RECOMENDACIONES _____	74
6.1 Implementación de los PCE _____	74
6.2 PCE alternativos _____	75
6.3 Actualización del plan verde y de la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios de la RM”. _____	76
6.4 Medidas de prevención y mitigación _____	77
6.5 Uso de tecnologías limpias _____	77
VII. CONCLUSIONES _____	79
VIII. REFERENCIAS _____	81
IX. Anexos _____	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas de emisión de contaminantes atmosféricos.	5
Tabla 2. Actividades de la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario.	20
Tabla 3. Volumen de material, transporte y viajes a realizar por cada actividad.....	27
Tabla 4. Distancia recorrida por camión para el traslado de materiales y residuos.	28
Tabla 5. Factores de emisión de MP ₁₀ de las principales actividades del proyecto.....	29
Tabla 6. Factores de emisión de MP ₁₀ para camiones pesados, medianos y maquinarias.	31
Tabla 7. Factor de emisión de NO _x para el funcionamiento de camiones y maquinarias. 32	
Tabla 8. Parámetros para calcular la reducción de emisiones mediante la pavimentación.	35
Tabla 9. Parámetros para la compensación por forestación.....	36
Tabla 10. Cronograma de Construcción del proyecto tipo.....	40
Tabla 11. Cálculo de emisiones por carguío y volteo de camiones.	42
Tabla 12. Contenido de finos por flujo de vehículos.	43
Tabla 13. Emisiones de MP ₁₀ resuspendido por la circulación de camiones.	44
Tabla 14. Emisiones de MP ₁₀ por combustión del motor de los camiones y maquinarias.	46
Tabla 15. Resumen de emisiones de MP ₁₀ por actividad de la etapa de construcción.	47
Tabla 16. Emisiones de NO _x por combustión de motores de camiones y maquinarias. ...	48
Tabla 17. Emisiones anuales y compensación según limite del PPDA.	49
Tabla 18. Factores de emisión de MP ₁₀ para camiones pesados Diesel Tipo 3 (EURO IV) y de las maquinarias.....	53
Tabla 19. Emisión de MP ₁₀ y NO _x por cada maquinaria.....	55
Tabla 20. Emisiones de NO _x y MP ₁₀ generadas por la combustión de camiones y maquinarias.	55
Tabla 21. Emisiones totales de la etapa de construcción.	56
Tabla 22. Emisión de MP ₁₀ y NO _x por camiones pesados con factores de emisión de la Guía y de la EPA.	57
Tabla 23. Emisiones de MP ₁₀ en la actividad de excavación con la excavadora de la guía y la propuesta.....	57
Tabla 24. Emisiones de MP ₁₀ y NO _x con los parámetros de la Guía y los propuestos.	58
Tabla 25. Emisiones del primer año de construcción según la Guía y el PCE propuesto. 59	
Tabla 26. Costos de la forestación por tipo de área verde.	61

Tabla 27. Reducción de emisiones a partir de la pavimentación.	63
Tabla 28. Camiones a chatarrizar para compensar el 150% de las emisiones de NO _x	65
Tabla 29. Costos de implementación de los PCE para MP ₁₀ y NO _x	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto tipo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Distribución de emisiones de MP ₁₀ por actividad..	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3. Distribución de emisiones de NO _x por actividad.....	50
Figura 4. Excavadora Komat´su propuesta para la actividad de excavación del proyecto	50

LISTA DE ABREVIATURAS

CO: Monóxido de Carbono.

CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente.

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

DICTUC: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

DIA: Declaración de Impacto Ambiental.

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

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

FE: Factor de emisión.

GORE: Gobierno Regional.

MINSEGPRES: Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

MP₁₀: Material Particulado.

NO_x: Óxidos de Nitrógeno (NO + NO₂).

OIRS: Oficina de Informaciones, reclamos y sugerencias.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PRMS: Plan Regulador Metropolitano de Santiago.

PCE: Planes de Compensación de Emisiones.

PPDA: Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica.

RCA: Resolución de Calificación Ambiental.

RM: Región Metropolitana.

SO_x: Óxidos de Azufre (SO₂).

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental.

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SMA: Superintendencia de Medio Ambiente.

SERVIU: Servicio de Vivienda y Urbanismo.

SEREMI MA: Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente.

RESUMEN

La contaminación atmosférica en la Región Metropolitana (RM) es un tema que está atrayendo mucha atención en la actualidad, debido a los efectos adversos que produce en la salud de los seres humanos y en la calidad del medio ambiente natural. Para combatir esta contaminación atmosférica se creó el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la RM, en el cual se establecen las herramientas e instrumentos que deben ser implementados para recuperar la calidad del aire de la RM.

Uno de los instrumentos descritos en el PPDA son los Planes de Compensación de Emisiones (PCE), que contienen las medidas necesarias para producir o generar un efecto positivo, alternativo y equivalente a los efectos adversos, que no sean posibles de mitigar o reparar.

Debido a que los PCE tienen una baja implementación y eficiencia por su alto costo económico, en este Seminario de Título se evalúa la efectividad de los PCE convencionales que son usados actualmente en la RM, para compensar las emisiones de MP_{10} y NO_x producidas en la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario como caso de estudio que ingrese al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). El objetivo de este trabajo es proponer un PCE actual que contenga medidas más eficientes en términos de costo y beneficio ambiental, que pueda ser una herramienta útil para alcanzar las metas establecidas en el PPDA, y comparar el costo económico y el beneficio ambiental de las medidas del PCE propuesto con las medidas de los PCE convencionales.

Los resultados mostraron que: i) Todos los PCE son efectivos ya que permiten compensar en un 150% las emisiones, ii) El PCE propuesto es más eficiente en términos de costo y beneficio ambiental, ya que permite compensar en un 150% las emisiones; sin un costo económico asociado ya que este está dentro de la inversión que implica la construcción del proyecto inmobiliario, iii) El PCE propuesto permite disminuir las emisiones de MP_{10} y NO_x a 4,5302 y 2,1978 toneladas en el primer año de construcción, por este motivo el titular del proyecto ya no tendría que presentar un PCE para NO_x y MP_{10} , ya que estas emisiones cumplen con la normativa establecida en el artículo 98 del D.S N° 66/2009 que permite una emisión máxima de 8,0 ton/año para NO_x y de 2,5 ton/año para MP_{10} .

También fue posible establecer los tres PCE menos eficientes según el costo económico y los problemas de implementación; en primer lugar se encuentra la chatarrización que presenta el mayor costo de implementación de \$160 millones y presenta problemas de implementación que se deben a la dificultad de encontrar una empresa chatarrizadora, en segundo lugar se encuentra la creación y mantención de áreas verdes que puede llegar a tener un costo de implementación de \$20 millones, y presenta problemas de implementación que se deben principalmente a la necesidad de actualizar el Manual Plan Verde, en tercer y último lugar se encuentra la pavimentación con un costo de implementación de \$9 millones, con problemas de implementación que se deben principalmente a la baja disponibilidad de calles para pavimentar que presenten un alto tráfico vehicular.

Finalmente se establecieron recomendaciones para mejorar la gestión ambiental de los PCE en los siguientes aspectos: i) la implementación de los PCE, ii) los PCE alternativos, iii) el Plan Verde, iv) el uso de tecnologías limpias, v) las medidas de prevención y mitigación.

ABSTRACT

Air pollution in the Metropolitan Region (MR) is presently attracting much attention, due to the adverse effects that it produces in human health and on the natural environment. In order to combat air pollution, a Plan of Prevention and Atmospheric Decontamination (PADP) for the MR was created. It establishes the tools and instruments that should be implemented towards the recovery of air quality.

One of the instruments described in the PADP is the Compensation Plans Emissions (PCE), which contains the measures to produce or generate a positive effect, alternative and equivalent to the adverse effects of emissions that are not possible to mitigate or repair. However, most PCE have low implementation and efficiency, mainly because of the high economic cost involved in carrying them out.

In this Seminar we analyzed, as a study case, the effectiveness of conventional PCE currently used for building projects in the MR, in order to enter to the System of Environmental Impact Assessment (SEIA), and compensate the emissions of PM₁₀ and NO_x produced. The aim of this work is to propose a more efficient PCE, in terms of cost and environmental benefits, as a useful tool to achieve the goals established in the PPDA. To this end, the economic cost and the environmental benefit of the PCE proposed measures with PCE conventional measures were compared.

The results showed that: i) All PCE are effective because they allow to offset emissions by 150%, ii) The proposed PCE is more efficient in terms of cost and environmental benefits, because it allows to offset emissions by 150%; without economic cost associated since this is within the investment involving the construction of real estate project, iii) The measures in the proposed PCE reduce emissions of PM₁₀ and NO_x to 4.5302 and 2.1978 tons in the first year of construction. Thus, the developer no longer should present a PCE for NO_x and PM₁₀, as the emissions fall below the regulations in Article 98 of Supreme Decree No. 66/2009, which allows a maximum emission of 8.0 ton / year for NO_x and 2.5 ton / year for PM₁₀.

It was also possible to establish that scrapping is the less efficient PCE as at present it is very difficult to find a scrapping company, and also to be implemented, the owner in the study case required \$ 160 million. The next most expensive and less efficient PCE is the creation and maintenance of green areas that can have an implementation cost of \$ 20 million. It presents implementation problems primarily due to the need to update the Green Plan Manual. The paving PCE has an implementation cost of \$ 9 million, and also presents implementation problems, mainly due to the low availability of high traffic unpaved streets.

Finally, recommendations were made in order to improve the environmental management of PCE in the following aspects: i) implementation, ii) alternative PCE, iii) the Green Plan, iv) the use of clean technologies, v) The prevention and mitigation of emissions.

I. INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes generales

1.1 Contaminación ambiental

En las últimas décadas se ha observado un deterioro del medio ambiente producido principalmente por el aumento en el tamaño de la población, el consumo energético y las actividades industriales. Esto se debe en gran medida al crecimiento económico que ha sido impulsado por la globalización, la que afecta a todos los países del mundo, incluyendo a Chile (Espinoza, 2007). Como solución a esta problemática surge la gestión ambiental, que corresponde a un conjunto de acciones tales como conductas, normas, procedimientos, actividades y tecnologías, que tienen por objetivo prevenir, controlar y/o corregir los problemas ambientales producidos por las actividades humanas. Para llevar a cabo cada uno de los objetivos a los que apunta la gestión ambiental, es necesario incorporar las metas del desarrollo sustentable a las metas corporativas de una organización.

El desarrollo sustentable es definido como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987), y pretende integrar las necesidades económicas, sociales y ambientales en un solo objetivo, implementando mejores políticas y estrategias para que el ser humano pueda tener un desarrollo pleno y una buena calidad de vida, sin generar un deterioro del medio ambiente, el cual puede traer consecuencias tanto en la sociedad actual como en las generaciones futuras.

La gestión ambiental sirve de ayuda para que las empresas tengan un constante desarrollo económico sin la necesidad de provocar un daño al medio ambiente, ya que ésta permite alcanzar el desarrollo sustentable en una organización con la aplicación de distintos Instrumentos de Gestión Ambiental.

Como un ejemplo de la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, una ciudad altamente urbanizada y caracterizada por la contaminación atmosférica en las últimas décadas es la ciudad de Madrid en España. En esta ciudad fue creado el Plan de Calidad de Aire de la Ciudad de Madrid, en el cual se establecen medidas que están enfocadas principalmente en la prevención de la contaminación atmosférica. La gran diferencia entre Madrid y la RM, es que en Madrid han sido capaces de experimentar una gran transformación socioeconómica sin provocar un daño al medio ambiente, logro alcanzado gracias a la correcta implementación de las medidas establecidas en el Plan de Calidad de Aire, y a la capacidad que tienen de integrar las consideraciones ambientales en su modelo de desarrollo económico, social y político.

De esta manera, y según la edición 2011 del Inventario de Emisiones de Madrid, las emisiones de los principales contaminantes registraron un descenso continuo en el periodo 2001-2010, reduciendo en un 48% los óxidos de nitrógeno y en un 37% el MP_{10} (Plan de Calidad de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid, 2011-2015).

1.1.1 Contaminantes atmosféricos

Actualmente, el PPDA exige a los proyectos o actividades que compensen sus emisiones de SO_x , NO_x y MP_{10} , en caso de que las normas correspondientes a estos contaminantes sean superadas (D.S N° 66, 2009). En este seminario de título serán tratados los PCE para NO_x y MP_{10} que corresponden a los contaminantes que presentan un problema mayor en la RM debido a la elevada concentración de estos en el aire y las reiteradas ocasiones en que se ha superado la normativa. Esto debido a que los niveles de concentración de MP_{10} siguen superando las normas de concentración anual y de 24 horas para el año 2011, lo cual es grave para la salud de los bebés y ancianos en el periodo de otoño-invierno, mientras que los NO_x también presentan altos niveles de concentración que se debe principalmente a la gran cantidad de flujo vehicular que existe en la RM, además su impacto sobre la atmosfera es incrementado al ser uno de los precursores del material particulado secundario y del ozono.

1.1.2 Fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos.

Una fuente emisora es toda actividad, proceso, operación o dispositivo móvil o estacionario que pueda producir emisiones. El origen de estas fuentes puede ser natural o antropogénico.

Las fuentes antropogénicas de los contaminantes atmosféricos MP_{10} y NO_x (D.S N° 66, 2009) en la RM, corresponden a: Buses, Camiones, Vehículos livianos y comerciales, Sector industrial y comercial, Residenciales, Quemadas agrícolas, Maquinaria fuera de ruta, Crianzas de animales. Mientras que las fuentes antropogénicas de NO_x en la RM son: los vehículos, las industrias y las centrales termoeléctricas

A su vez las fuentes antropogénicas pueden ser clasificadas según sus características (D.S N° 66, 2009), como se muestra a continuación:

- **Fuente estacionaria:** Aquella diseñada para operar en lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento.
- **Fuente estacionaria puntual:** Fuente estacionaria cuyo caudal o flujo volumétrico de emisión es superior o igual a mil metros cúbicos por hora (1.000 m³/hr) bajo condiciones estándar, medido a plena carga.
- **Fuente estacionaria grupal:** Fuente estacionaria cuyo caudal o flujo volumétrico de emisión es inferior a mil metros cúbicos por hora (1.000 m³/hr) bajo condiciones estándar, medido a plena carga.
- **Fuente móvil:** Aquellas fuentes que tienen desplazamiento continuo, dejando sus contaminantes dispersos en el área donde realizan su recorrido. Estas incluyen a las diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones, aviones, maquinaria, etc.

1.2 Institucionalidad Ambiental en Chile

1.2.1 Historia

El 9 de marzo del año 1994 fue publicada en el diario oficial la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Ley que trajo consigo la creación de la CONAMA, esta fue la institución del Estado que tuvo como misión el velar por el derecho de la ciudadanía a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, llevando a cabo la gestión de materias medioambientales.

Luego, en el año 1998 fue promulgado el PPDA por el D.S N° 16 en la RM (D.S N° 16, 1998), tras ser declarada zona saturada por Ozono, Material particulado respirable, Partículas totales en suspensión y Monóxido de Carbono, y además zona latente por Dióxido de Nitrógeno (D.S N° 131, 1996). El PPDA consiste en un conjunto de medidas que establecen las estrategias y acciones que se deben llevar a cabo para cumplir con las normas de calidad de aire, disminuir los niveles de contaminantes atmosféricos, proteger la salud de la población y mejorar la calidad de vida.

Además, el PPDA tiene contemplado el desarrollo de procesos de revisión periódica, para evaluar el desempeño e implementación de las disposiciones establecidas, la evolución de calidad del aire y la incorporación de nuevas medidas de control en caso de ser necesario. Hasta la fecha, el PPDA ha sido reformulado dos veces, la primera vez a través del D.S. N° 58 (D.S N° 58, 2004) y la segunda vez el 16 de abril del 2010 a través del D.S. N°66 (D.S N° 66, 2009), que aún sigue vigente. Actualmente está siendo revisado, reformulado y actualizado, por tercera vez ya que no se cumplieron al 100% algunas de las metas propuestas en la última actualización. Para lograr las metas del PPDA, son utilizados los instrumentos de gestión ambiental, como los PCE que se verán con mayor detalle en la siguiente sección.

1.2.2 Organismos y Normativas

Con el objetivo de realizar mejoras en la institucionalidad ambiental, fue publicada la Ley N° 20.417 en enero de 2010 (Ley N° 20.417, 2010). Esta ley crea el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Cada una de estas organizaciones tiene como función regular (Ministerio), evaluar (SEA), fiscalizar y sancionar (SMA). La reforma en la institucionalidad ambiental se completa con la creación de los Tribunales Ambientales, entes jurisdiccionales especializados e independientes, encargados de resolver los conflictos medioambientales.

1.2.2.1 NORMATIVA CALIDAD DE AIRE

La normativa ambiental para la calidad del aire en la RM, comprende la normas de calidad de aire y las normas de emisión de contaminantes atmosféricos. La norma de emisión (artículo 98 del D.S N° 66, 2009), para los proyectos y/o actividades nuevas y modificaciones de los existentes que se sometan al SEIA, en cualquiera de sus etapas, indica que deberán cumplir con el máximo anual de emisiones permitidas, de lo contrario deberán compensar sus emisiones anuales en un 150%. Los valores de la norma de emisión se presentan en Tabla 1.

Tabla 1. Normas de emisión de contaminantes atmosféricos.

Contaminante	Emisión máxima (ton/año)
MP ₁₀	2,5
NO _x	8
SO _x	50

Fuente: D.S N°66 PPDA RM

1.2.3 Instrumentos de Gestión Ambiental

Los instrumentos de gestión ambiental son herramientas que sirven de ayuda para cumplir la normativa ambiental vigente al ser aplicados en las actividades productivas,

políticas y planes de una organización, es decir permiten poner en práctica una política ambiental, otorgando a los encargados de la gestión ambiental los mecanismos que permitan llevar a cabo de manera eficiente y equilibrada sus objetivos económicos, ambientales y sociales dentro de una organización pública o privada.

Los instrumentos de gestión ambiental con los que cuenta la institucionalidad chilena ambiental para lograr los objetivos del PPDA de la RM corresponden a las Normas de Emisión, las Normas de Calidad, el SEIA, el PPDA, la Participación Ambiental Ciudadana, el Fondo de Protección Ambiental, la Educación Ambiental y los PCE.

1.3 Plan de Compensación de Emisiones

1.3.1 Historia

Los PCE comenzaron a tomar mayor importancia en la década de los noventa cuando fue publicado el D.S N°4/1992 del Ministerio de Salud (D.S N°4, 1992), que establece los niveles máximos para las emisiones de material particulado de fuentes estacionarias, y además define el término de compensación como; "un acuerdo entre titulares de fuentes de modo tal, que una de las partes practica una disminución en sus emisiones de material particulado al menos en el monto en que el otro las aumenta". En este decreto también se estableció que los PCE deberían ser utilizados como un instrumento de gestión ambiental para compensar las emisiones de material particulado que producen las fuentes estacionarias puntuales y grupales.

En el año 1996, con la entrada en vigencia del PPDA de la RM a través del D.S. N° 16/1996 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES), la compensación de emisiones se convirtió en un instrumento de gestión ambiental aplicable no sólo para compensar las emisiones producidas por fuentes estacionarias, sino que también para todas las actividades o proyectos nuevos y las modificaciones de estos que ingresan al SEIA en la RM. Cabe destacar que en el artículo 60 del Reglamento vigente del SEIA se dispone que "Las medidas de compensación tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado.

1.3.2 Definición

Los PCE corresponden a un conjunto de medidas, diseñadas para disminuir las consecuencias derivadas de los efectos ambientales negativos que son producidos en el medio ambiente, los cuales ya no pueden ser mitigados o reparados, y además son generados por un proyecto y/o actividad.

El objetivo de un PCE, es compensar los efectos negativos producidos por emisiones diarias de contaminantes atmosféricos como el caso del MP_{10} y NO_x , emitidas por fuentes fijas de procesos industriales, por calderas industriales y proyectos que ingresan al SEIA en la RM. Estos objetivos se cumplen mediante la implementación de medidas tales como el congelamiento de las emisiones existentes, el incentivo de la incorporación de tecnologías limpias y actuales y la transferencia de emisiones (Espinoza, 2007).

La necesidad de compensar emisiones y las características de un PCE dependen del tipo de fuente responsable de las emisiones, es por esto que la entidad responsable de dichas emisiones deberá compensar sus emisiones en la RM según la normativa vigente, a través de tres mecanismos de compensación: i) compensación de MP_{10} en calderas industriales; ii) compensación de emisiones de MP y NO_x para fuentes de proceso; iii) compensación de proyectos en la RM que ingresan al SEIA.

1.3.3 Diseño

Para diseñar un PCE, el titular del proyecto se debe basar en los principios y criterios establecidos en el Plan Verde de la CONAMA (Manual Plan Verde, 2005).

1.3.3.1 PRINCIPIOS DE UN PLAN DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES

Para diseñar un PCE existen seis principios básicos que deben ser respetados, y utilizados como fundamento para las decisiones que son tomadas al momento de crear las medidas que serán implementadas para compensar emisiones.

- **Integridad ambiental:** En este principio se sintetiza la exigencia central que recae sobre los planes de compensación de emisiones atmosféricas, esta se basa en una serie de criterios con los que debe cumplir un PCE para provocar una disminución de emisiones real, cuantificable, adicional, permanente en relación a la vida útil del proyecto y exigible en su cumplimiento.
- **Concordancia con el PPDA:** El PPDA es el instrumento principal que determina los criterios a considerar frente a proyectos o alternativas de reducción de emisiones que presenten los titulares para dar cumplimiento con la compensación de emisiones. En términos prácticos, los proyectos que deben rebajar sus emisiones no podrán sobreponerse a otras medidas que no sean del PPDA. A través de este criterio se busca entregar elementos para el establecimiento de la línea de base a los proyectos o alternativas de reducción de emisiones.
- **Igual tratamiento:** Cualquier alternativa de reducción de emisiones perteneciente a un determinado sector recibirá un trato equivalente a las fuentes emisoras de dicho sector, en cuanto a las exigencias de monitoreo y fiscalización, y a situaciones particulares a las que estos sectores puedan estar afectos. Este criterio también está orientado al establecimiento de la línea base y a la vez pretende garantizar la permanencia de la reducción.
- **Responsabilidad equivalente:** La alternativa de reducción de emisiones debe ser equivalente al incremento de emisiones, por lo que se exigirá a quién reduce que garantice dicha reducción por el período que se le reconoce. Este criterio está orientado a garantizar la permanencia de la reducción.
- **Precautorio:** En casos donde existe incertidumbre con respecto a la estimación de las emisiones reducidas, se optará por seleccionar aquellos parámetros que conduzcan a la estimación más pequeña.
- **Gradualidad:** Se considera prudente proceder de manera gradual en el sentido de ir considerando primeramente sólo aquellos proyectos o alternativas de reducción de emisiones que muestren de manera clara la integridad ambiental de la misma.

Para el titular del proyecto que debe compensar sus emisiones, estos principios describen las exigencias que serán consideradas por la SEREMI MA al momento de evaluar el PCE presentado en el SEA, y a la vez le sirven como guía para tomar las mejores decisiones en cuanto a la selección de las medidas de compensación y a su forma de implementación.

1.3.3.2 CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UN PCE

Bajo el principio de la integridad ambiental, el cual busca que la compensación provoque una rebaja de emisiones, se definen seis criterios a considerar en el diseño de un PCE, para que la compensación de emisiones sea real, cuantificable, adicional, exigible en su cumplimiento y permanente en el tiempo, en relación a la vida útil del proyecto que debe compensar. Estos criterios otorgan credibilidad y efectividad a los PCE y se describen a continuación:

- **Comparables:** Las emisiones deben ser comparables en cuanto a características de composición y granulometría.
- **Reales:** La medida debería implicar una rebaja efectiva de las emisiones.
- **Cuantificables:** Existencia de un método que permita cuantificar la reducción de emisiones.
- **Adicionales:** La medida no debe responder a otras obligaciones comprometidas por el titular en función de la normativa aplicable a esta materia.
- **Permanentes:** La reducción debe permanecer por el período que el proyecto esté obligado a compensar.
- **Exigibles:** Los compromisos que adquiere el titular deben ser formalmente suscritos.

La finalidad de estos criterios, es permitir que la compensación de emisiones sea real, cuantificable, adicional, exigible en su cumplimiento y permanente en el tiempo en relación a la vida útil del proyecto que debe compensar, es decir estos criterios le otorgan credibilidad y efectividad a los PCE.

1.3.4 Lugar y superficie

El artículo 61 del Reglamento vigente del SEIA (Reglamento SEIA, 2012), se dispone que “las medidas de reparación y compensación sólo se llevarán a cabo en las áreas o lugares en que los efectos adversos significativos que resulten de la ejecución o modificación del proyecto o actividad, se presenten o generen”. Esto restringe la implementación de medidas de compensación sólo al área de influencia del proyecto, que en el caso de la biodiversidad se traduce en los espacios de distribución de los respectivos ecosistemas y especies que se verán afectados.

En el artículo N° 11 de dicho reglamento (Reglamento SEIA, 2012), se establece que “las medidas de compensación se llevarán a cabo en las áreas o lugares en que los impactos significativos se presenten o generen o, si no fuera posible, en otras áreas o lugares en que resulten efectivas”.

Por otra parte, en el artículo 117 del PPDA (D.S N° 66, 2009) se establece que con el fin de contribuir a la reducción de la contaminación atmosférica en la RM, la compensación de emisiones utilizando la metodología de creación y/o mantención de áreas verdes deberá realizarse dentro del área urbana del PRMS, de preferencia en aquellas comunas con escasas de áreas verdes y/o de menores ingresos. Asimismo, establece que la compensación de las áreas deberá realizarse dentro de la RM, de preferencia, en aquellas masas de vegetación que rodean la Cuenca de Santiago que necesiten de una restauración ecológica.

1.3.5 Normativa ambiental

Cuando la estimación de emisiones atmosféricas de un proyecto, informan que se superan los límites establecidos en el art. 98 del D.S N° 66/2009 que actualiza el PPDA de la RM para MP_{10} y para NO_x , entonces el titular debe presentar a las Secretaria Regional Ministerial de Medio Ambiente de la RM (SEREMI MA) un PCE para su aprobación, en un plazo no superior a 60 días, en el caso de MP_{10} y de 90 días en el caso de NO_x . En ambos casos el plazo cuenta desde la notificación de la RCA (D.S N°66, 2009). Por lo tanto, con posterioridad a la RCA se obtiene la aprobación por parte de la SEREMI MA de una complementación del PCE que debe establecer la forma concreta de la compensación, indicando detalladamente de qué manera se ejecutará la compensación, los plazos asociados y como se realizará el seguimiento al cumplimiento de la misma.

1.3.6 Fiscalización y Seguimiento

La Ley N° 20.417 creó una nueva institucionalidad ambiental, la SMA, la cual debe garantizar el cumplimiento de la regulación ambiental, teniendo a su cargo la ejecución, organización y coordinación del seguimiento y fiscalización de las RCA, de las medidas de los Planes de Prevención y/o de Descontaminación Ambiental, del contenido de las Normas de Calidad Ambiental, Normas de Emisión, y de todos aquellos otros instrumentos de carácter ambiental establecidos por la ley. También se encargan de la aplicación de sanciones en los casos de infracción a los instrumentos ambientales, previa instrucción de un procedimiento administrativo sancionatorio.

En el caso de que un proyecto o actividad que deba presentar un PCE por no cumplir con el artículo 98 del D.S. N°66, no cumpla con la implementación del mismo, la SMA formula cargos sobre el titular de dicho proyecto o actividad, para luego iniciar un procedimiento sancionatorio. Este, según el artículo 42 de la Ley Orgánica de la SMA, comienza con la presentación de un programa de cumplimiento por parte del titular en un plazo máximo de 10 días, contado desde el inicio del proceso sancionatorio. El programa debe constar de un plan de acciones y metas presentado por el titular, para que dentro de un plazo fijado

por la Superintendencia, los responsables cumplan satisfactoriamente con la normativa ambiental.

1.4 Medidas de Compensación

1.4.1 MP₁₀

Existen dos medidas de compensación de emisiones que actualmente son usadas para compensar las emisiones de MP₁₀, las cuales corresponden a la pavimentación y la forestación (Evaluación del Instrumento Compensación de Emisiones RM, 2014).

1.4.1.1 PAVIMENTACIÓN

Esta medida considera las emisiones de MP₁₀ producidas por el flujo vehicular que circula por una calle no pavimentada, y la disminución de estas emisiones cuando la misma calle es pavimentada. La longitud de calle que debe ser pavimentada para compensar el 150% de las emisiones de MP₁₀ producidas por un proyecto, depende del flujo vehicular de la calle. Mientras mayor sea el flujo vehicular, menor será la longitud que se deberá pavimentar y por consiguiente menor será el costo económico. Para realizar la pavimentación de una calle de uso público, es un requisito fundamental que el tramo de calle a pavimentar no se encuentre inserto en futuros proyectos de pavimentación, por lo que el PCE debe contener los documentos emitidos por parte de la Municipalidad, GORE y SERVIU que acrediten esta situación.

Para realizar la pavimentación de una calle, primero se debe conocer la reducción de emisiones producto de la pavimentación, la cual depende del flujo vehicular que la calle presente. Mientras que la reducción de emisiones por pavimentación, se determina del siguiente modo:

$$RE = Esp - Ep \quad (1)$$

$$Esp = Fesp \times F \times D \quad (2)$$

$$E_p = F_{ep} \times F \times D \quad (3)$$

Donde:

RE: Reducción de Emisiones t/año

Esp: Emisión Camino Sin pavimentar (situación actual) t/año

Ep: Emisión Camino Pavimentado (proyecto) t/año

Fep: Factor de emisión camino pavimentado.

Fsp: Flujo total anual del proyecto para tránsito de vehículos pesados calle sin pavimentar km/año

Fp: Flujo total anual del proyecto para tránsito de vehículos pesados calle pavimentada km/año D: Distancia km

Según un estudio realizado por la Superintendencia del Medio Ambiente, publicado en marzo del presente año, que lleva por título "Evaluación del Instrumento de Compensación de Emisiones Región Metropolitana", la pavimentación es el PCE más utilizado para compensar las emisiones de MP_{10} de los proyectos, seguida por la medida de forestación. Aún así, la implementación de estos planes presenta variados problemas que afectan en la efectividad del instrumento de compensación para producir un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso generado por un proyecto y/o actividad, que no sea posible mitigar o reparar. Por este motivo es de suma importancia proponer nuevas medida de compensación, y reconocer los principales problemas de los PCE existentes con el objetivo de poder mejorar la metodología de implementación.

1.4.1.2 FORESTACIÓN Y PLAN VERDE

La forestación como PCE de MP_{10} se puede llevar a cabo por medio de la creación y/o mantención de zonas de bosque nativo y áreas naturales, o bien por la creación de áreas



de cortinas verdes en espacios privados urbanos. Para implementar de manera correcta este PCE, existe un manual conocido como Plan Verde (Manual Plan Verde, 2005), en el cual se describe la metodología para la creación y/o mantención de áreas verdes.

El Plan Verde es creado por la CONAMA en el año 2005, el cual surge ante la necesidad de coordinar los diferentes proyectos e iniciativas públicas y privadas destinadas a la implementación de nuevos espacios verdes en la región, para acercarnos a los estándares que aconseja la Organización Mundial de la Salud (OMS). Y corresponde a un manual instructivo que describe los criterios técnicos generales bajo los cuales se debe construir y mantener un área verde. El beneficio producido por las áreas verdes es la acción como sumidero de contaminantes atmosféricos, especialmente de material particulado, siendo mayor el efecto para las áreas verdes compuestas por árboles. Este manual es un sistema de gestión que busca generar nuevas superficies cubiertas por arboles, que ayuden a combatir la contaminación atmosférica de la RM.

Los planes de gestión de áreas verdes fueron incorporados en el artículo N° 65 de la reformulación del PPDA por el D.S. N° 58 el 29 de Enero de 2004, en el cual se establece un Programa para el Control del Levantamiento de Polvo y Generación de Áreas Verdes, con el fin de ayudar a mejorar la calidad del aire en la RM, gestionando la mantención de áreas verdes existentes, la construcción y mantención de nuevas superficies de áreas verdes, con el objetivo de llegar a un valor de 9 m² de áreas verdes por habitante.

En el año 2004 se publicó el proyecto de investigación Fondef D001 1078, realizado entre la Universidad de Chile y la Universidad del Estado de Nueva York, el cual tuvo como objetivo principal conocer los efectos de la vegetación urbana sobre la contaminación atmosférica de la ciudad. Para esto entre julio de 1997 y junio de 1998 realizaron un monitoreo de diversas especies arbóreas localizadas en 32 comunas del Gran Santiago, aplicando la metodología utilizada por el modelo Urban Forest Effects, UFORE. Y encontraron que la vegetación puede remover anualmente: 37.700 toneladas de CO₂, 650 toneladas de ozono, 2240 toneladas de material particulado, 250 toneladas de NO₂, 280 toneladas de SO₂, y 110 toneladas de CO.

El estudio determinó que los arboles permiten eliminar en promedio 9,70 g de contaminantes por m² de cubierta arbórea y los arbustos permiten eliminar en promedio

8,60 g de contaminante por m² de cubierta arbórea. Los arboles presentan una mayor tasa remoción debido al mayor índice foliar (IAF; m² de área foliar por m² área de terreno proyectado) y el porcentaje de área foliar de hoja perenne. Además, en este estudio se estimó que si los árboles y arbustos remueven 3.500 ton. de contaminantes atmosféricos, se ahorraría un equivalente a 44,8 millones de dólares.

La creación de áreas verdes en la Región Metropolitana es necesaria ya que el promedio de cobertura vegetal de la ciudad de Santiago es solo de un 16%. Este valor resulta mayor en Vitacura con un 44%, La Reina con 38,3%, Las Condes con 37,3%, Lo Barnechea con 34% y Providencia con un 30,2%. Las comunas con valores inferiores al 7% son Calera de Tango 3,1%, San Ramón 3,8%, Pudahuel 4,3%, Quinta Normal 5,3% y San Joaquín 6%. (Hernández, 2008).

1.4.2 NO_x

Existen tres medidas que permiten compensar las emisiones de NO_x, las que se describen a continuación.

1.4.2.1 CHATARRIZACIÓN

A raíz de la problemática que genera la circulación de vehículos antiguos y los beneficios de la chatarrización, el 26 de enero del 2011 se aprueba el D.S N° 44 (D.S N° 44, 2011), en el que se establece el reglamento que regula el programa especial de renovación de buses, minibuses, trolebuses y taxibuses. El programa consiste en el proceso de compra y posterior chatarrización de vehículos usados, garantizando su renovación. Además, gracias a este decreto los gobiernos regionales pueden exigir la conservación de determinados buses, minibuses, trolebuses y taxi buses solo para efectos de investigación histórica o para su exhibición en museos. En el artículo 3 de dicho reglamento se define la chatarrización como "El proceso técnico mecánico de destrucción total de un vehículo, realizado por un chatarrizador", la finalidad de este proceso es la reutilización de la chatarra.

La chatarra corresponde a metal de hierro dispuestos como desecho, el cual es reutilizado como materia prima para la producción de acero.

En Chile, actualmente más de 250,000 vehículos que circulan diariamente por nuestro país tienen 20 años o más en servicio (Transporte y Turismo, 2013). Esto implica una alta emisión de NO_x y MP_{10} producto de la combustión incompleta que realizan los motores antiguos de estos vehículos. Mientras que la chatarrización como PCE consiste en el retiro de camiones y buses antiguos de circulación, la efectividad de esta alternativa se basa en que los vehículos antiguos contaminan más que los vehículos nuevos, ya que los motores nuevos realizan una mejor combustión (más completa), gracias a que tienen tecnologías nuevas que son más limpias para el medio ambiente.

La chatarra que es reciclada en Chile, equivale al 20% del total de acero producido (Gerdau, 2014), a pesar de que no es un valor menor, es bajo comparado con países industrializados, y significa un grave problema ya que el resto del acero que podría ser reutilizado como materia prima se está perdiendo y contaminando el medio ambiente. El reciclaje del acero también ayuda a conservar los recursos naturales. En el año 2006, en Chile se evitó la explotación de 750.000 toneladas de mineral de hierro y más de 400.000 toneladas de carbón, generando un ahorro del 75% de la energía usada para la obtención del hierro mineral (Manual del Proveedor de Chatarra, 2008), energía que anualmente equivale al suministro de la electricidad necesaria para la primera región de nuestro país.

1.4.2.2 COMPRA DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS

Esta alternativa tiene una base similar a los bonos de carbono del tratado de Kioto, ya que consiste en comprar emisiones a proyectos que posean fuentes fijas que no superen la normativa ambiental vigente, en otras palabras se compra la diferencia entre el valor de las emisiones de la fuente fija y el valor de la norma, aplicable al contaminante que se deba compensar.

1.4.2.3 TECNOLOGÍAS LIMPIAS

El uso de tecnologías limpias tiene como función la protección del medio ambiente, mediante la prevención de la contaminación. Esto implica la producción y el desarrollo de tecnologías y estrategias que permitan reducir o eliminar los desechos producidos durante el desarrollo de una actividad o proceso industrial.

La EPA define la tecnología limpia como “el uso de materiales, procesos o métodos que reduzcan o eliminen la creación de contaminantes o desechos en su fuente de origen. Ello incluye los métodos para reducir el empleo de materiales peligrosos, energía, agua u otros recursos y procedimientos que protejan los recursos naturales a través de la conservación o de un uso más eficiente”. Por lo tanto, esta medida está enfocada en la renovación de las fuentes emisoras de NO_x, de manera que las fuentes renovadas tengan un mejor rendimiento y produzcan menores emisiones.

Las principales ventajas que conlleva el uso de tecnologías limpias corresponden al desarrollo sostenible, la administración limpia de recursos, y el reciclaje de desechos.

Cabe destacar que actualmente solo es utilizada la medida de chatarrización como PCE para compensar las emisiones de NO_x (Evaluación del Instrumento Compensación de Emisiones RM, 2014).

2. Antecedentes específicos

Actualmente en Chile, aún estamos lejos de lograr el objetivo del desarrollo sustentable, ya que las empresas aún no integran la conciencia ambiental en sus actividades, y como consecuencia siguen contaminando el medio ambiente. Es por ello que resulta necesario trabajar en el diseño de medidas más eficientes para llevar a cabo una adecuada gestión ambiental en las organizaciones tanto públicas como privadas.

Con estos antecedentes queda demostrado que es posible alcanzar un desarrollo sustentable en la RM, por medio de la implementación de los instrumentos ambientales de la gestión ambiental, como por ejemplo los PCE.

Desafortunadamente, los PCE en Chile presentan una baja implementación, lo cual se debe principalmente a que no existe un manual en donde se describan las opciones de PCE y las medidas que se deben tomar para implementarlos de manera correcta, sumado a esto existen muy pocas opciones de PCE para la compensación de emisiones de MP₁₀ y NO_x, lo cual aumenta la necesidad de seguir trabajando a favor de los PCE.

2.1 Proyectos Inmobiliarios.

En el Reglamento del SEIA, se definen los proyectos inmobiliarios como aquellos proyectos que contemplen obras de edificación y/o urbanización, para fines habitacionales, y que presenten alguna de las características definidas en el inciso h.1. de dicho reglamento. En este reglamento además se establece que deberán someterse al SEIA todos los proyectos inmobiliarios y modificaciones que se deseen emplazar en zonas donde exista alguna declaración de zona saturada o latente. Por lo tanto, todos los proyectos inmobiliarios que se ejecuten en la RM deberán someterse al SEIA, ya que según el último informe de seguimiento del PPDA presentado el año 2012, la RM se encuentra en estado de zona saturada por MP₁₀ en sus normas de 24 horas y anual, en estado de saturación por ozono en su norma de 8 horas, y para el CO se encuentra en estado de latencia en su norma de 8 horas.

La necesidad de diseñar un PCE más eficiente para compensar las emisiones producidas proyectos inmobiliarios, se debe a que estos generan un gran impacto ambiental en la RM, ya que corresponden a la principal tipología que debe compensar sus emisiones en la RM, ya que representan aproximadamente el 30% del total de proyectos que debe presentar un PCE (Evaluación del instrumento compensación de emisiones RM, 2014).

Estos proyectos constan de tres etapas, una primera etapa de construcción, luego la etapa de operación y la última de abandono, en los casos en que exista alguna edificación en el terreno donde se llevará a cabo el proyecto, es necesario una etapa extra que se realiza antes de la construcción, la cual sería la demolición de la construcción existente en dicho terreno.

2.1.1 Etapa de construcción

Según el estudio realizado por la SMA, aproximadamente el 70% de los proyectos que ingresan al SEA debe compensar sus emisiones por la fase de construcción (Evaluación del Instrumento Compensación de Emisiones RM, 2014).

Durante la etapa de construcción, los proyectos deben considerar las emisiones de las actividades de intervención directa del sitio donde se realiza el mismo, las asociadas al transporte y disposición del material extraído, y al transporte de los materiales necesarios para la construcción.

En la Tabla 2. se muestran las actividades en las que se generan contaminantes atmosféricos, las cuales se llevan a cabo durante la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario:

Tabla 2. Actividades de la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario.

Tipo de emisión	Actividad
Indirectas	<ul style="list-style-type: none"> • Tránsito de camiones por caminos pavimentados y no pavimentados fuera del sitio donde se emplaza el proyecto
	<ul style="list-style-type: none"> • Volteo de camiones en sitio de disposición
	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de combustión de maquinaria y vehículos
Directas	<ul style="list-style-type: none"> • Perforación
	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpe
	<ul style="list-style-type: none"> • Excavaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Carguío y volteo de camiones
	<ul style="list-style-type: none"> • Tránsito de camiones por caminos pavimentados y no pavimentados al interior del sitio donde se emplaza el proyecto
	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión de material en pila

Fuente: "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM, 2012".

Para cada una de estas actividades existe un factor de emisión, que permite estimar las emisiones producidas durante cualquiera de estas actividades, los cuales se verán más adelante.

Las rutas de la actividad de transporte de materiales y residuos del proyecto, difieren según el tipo de material, el tipo de residuo y el camión que los transporta. El transporte de hormigón lo realizan camiones Míxer, los materiales (fierros, tabiquerías, puerta y ventanas) son transportados en camiones planos y pequeños. Los camiones batea transportan el relleno estructural y excedentes del material de excavación, en tanto la ruta

de residuos, asociada los escombros de la construcción, se realiza en camiones medianos.

2.1.2 Normativa en Chile

Es importante destacar que los proyectos o actividades que ingresan al SEIA, son todos aquellos que generan o presentan alguno de los efectos, características o circunstancias descritos en el artículo 11 de la Ley N° 19.300 (Ley N° 19300, 1994), que posteriormente son sometidos a una evaluación de sus impactos ambientales por medio de un EIA o DIA según corresponde, en el cual el titular del proyecto o actividad debe diseñar una o más medidas de mitigación, reparación o compensación, apropiadas para los impactos ambientales que produzca el proyecto, también deben establecer un plan de seguimiento que permita rectificar el cumplimiento de dichas medidas (D.S N° 66, 2009).

Los proyectos inmobiliarios que son sometidos al SEIA deben presentar un PCE cuando superan las normas de emisión para MP_{10} , NO_x , y SO_x , y deben cumplir con las siguientes condiciones: i) aquellos proyectos o actividades nuevas y sus modificaciones, en cualquiera de sus etapas, que tengan asociadas una emisión total anual que implique un aumento sobre la situación base, superior a los valores de las normas de emisión, deberán compensar sus emisiones en un 150%; ii) la compensación de emisiones será de un 150% del monto total anual de emisiones de la actividad o proyecto para el o los contaminantes para los cuales se sobrepase el valor referido en la Tabla precedente. Estas emisiones corresponderán a emisiones directas, es decir, las que se emitirán dentro del predio o terreno donde se desarrolle la actividad, y a las emisiones indirectas, tales como, las asociadas al aumento del transporte producto de la nueva actividad; iii) respecto a los contaminantes CO, COV y NH_3 , aquellos proyectos inmobiliarios que se sometan al SEIA deben calcular e informar las emisiones de todos los contaminantes mencionados con un anexo de la estimación de las emisiones atmosféricas producidas durante las etapas del proyecto.

2.2 Estimación de emisiones atmosféricas.

Cuando un proyecto o actividad ingresa al SEIA, debe presentar un informe anexo a su DIA o EIA, en el cual debe incluir una cuantificación de la cantidad de contaminante que se libera hacia la atmosfera producto de la actividad y/o proyecto que está en proceso de evaluación, esta cuantificación debe ir expresada en toneladas de contaminante emitidas por año. Esto es necesario para determinar si corresponde o no presentar un PCE, de manera que el titular del proyecto o actividad debe estimar las emisiones que se producen durante cada una de las etapas del proyecto o aquellas producidas por la acción acumulada de dos o más etapas.

Para llevar a cabo la estimación de emisiones se debe tomar en cuenta los siguientes requisitos: i) Definir las actividades y fuentes generadoras de emisiones; ii) Definir los niveles de actividad de las fuentes y los parámetros a utilizar, iii) Considerar solo las emisiones incrementadas en caso de tratarse de una ampliación, modificación, o traslado de un proyecto existente; iv) Incorporar al cálculo las medidas de abatimiento que serán utilizadas.

Por último, la estimación de emisiones generadas por proyectos o actividades en la RM, se debe realizar utilizando los factores de emisión que se informan en la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana".

2.3 Factores de emisión actualizados

En el año 2009 la EPA propuso nuevos factores de emisión, aplicables a vehículos nuevos que cumplen con la normativa europea, que regula las emisiones de gases de combustión producidas por el motor de los vehículos, estos factores se encuentran disponibles en el documento AP42 de la EPA y fueron utilizados para llevar a cabo el desarrollo de este Seminario de Título.

La normativa europea para emisiones atmosféricas, establece normas relacionadas con los requisitos técnicos para la homologación del motor de los vehículos de acuerdo a las emisiones que producen. En otras palabras, esta normativa regula los valores límites para las emisiones de gases producidos por la combustión de los vehículos. Esta regulación se lleva a cabo por medio de una clasificación de los vehículos de acuerdo a las emisiones de gases contaminantes que produce el motor; EURO I, EURO II, EURO III, EURO IV, EURO V y EURO VI. Siendo los vehículos con normativa EURO I los que producen el mayor nivel de emisión de gases contaminantes, mientras que un EURO VI le corresponde el nivel de emisión de gases más bajo.

3. Propuesta de Seminario de Título

De acuerdo a los antecedentes presentados, es necesario optimizar las medidas de compensación, por medio de un PCE que contemple el uso de tecnologías de mejor rendimiento y menores emisiones de contaminantes atmosféricos. Esto, debido a que las alternativas de PCE tanto para MP_{10} como para NO_x son muy reducidas, tienen una baja implementación, y una baja fiscalización y seguimiento.

Sobre estas bases, este Seminario propone una investigación sobre los PCE que actualmente son utilizados, y un estudio orientado en la elaboración de un PCE que considere los factores de emisión actualizados tanto para camiones como para maquinaria de mejor calidad, de menor costo económico para el titular del proyecto inmobiliario y menor impacto ambiental en la calidad del aire de la RM.

4. Hipótesis

Es posible mejorar las medidas de los PCE convencionales en términos de costo y beneficio ambiental, para compensar las emisiones de MP_{10} y NO_x producidas en la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario, priorizando el criterio de tecnologías limpias.

II. OBJETIVOS

2. Objetivo general y específicos

2.1 Objetivo general

- Proponer un PCE para compensar las emisiones de MP_{10} y NO_x producidas en la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario de la RM como caso de estudio, de mayor eficiencia en términos de costo y beneficio, con respecto a los PCE convencionales que actualmente están en uso.

2.2 Objetivos específicos

- Describir el proyecto inmobiliario de la RM como caso de estudio y el PCE propuesto para MP_{10} y NO_x .
- Estimar y comparar las emisiones de MP_{10} y NO_x producidas en la etapa de construcción, en base a la metodología de la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM" y del PCE propuesto.
- Describir los PCE convencionales y evaluar su costo económico y beneficio ambiental.
- Evaluar el costo económico y beneficio ambiental del PCE propuesto, y compararlo con el de los PCE convencionales.
- Recomendar medidas para mejorar la gestión ambiental de los PCE.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3. Selección del proyecto inmobiliario de la RM como caso de estudio

Para evaluar el PCE que será propuesto y los PCE convencionales, se utiliza un proyecto inmobiliario de la RM como caso de estudio, el cual permite comparar las distintas medidas de los PCE expuestos en este trabajo, además de darle credibilidad a la evaluación y comparación. A continuación se presenta una descripción del proyecto inmobiliario como caso de estudio, y los datos del proyecto necesarios para llevar a cabo la estimación de emisiones.

3.1 Criterios de selección

El Proyecto Inmobiliario como caso de estudio fue escogido de acuerdo a su infraestructura, ubicación y confidencialidad de datos por parte del titular. El proyecto consiste en la construcción de un edificio de 22 pisos, con 334 departamentos, cuyo plazo de construcción se estima en 15 meses. De acuerdo a esta información, éste proyecto debe ingresar al SEIA, ya que cumple con una de las características de acuerdo al inciso h.1.3 que establece que los proyectos inmobiliarios que consulten la construcción de 300 o más viviendas ingresaran al SEIA.

3.2 Datos del proyecto

Los datos del proyecto inmobiliario como caso de estudio fueron proporcionados por el titular de dicho proyecto, estos se encuentran en las tablas 3 y 4.

El número de viajes que se deben realizar para trasladar los materiales involucrados en la etapa de construcción del proyecto (Tabla 3), se obtiene por el cociente entre el volumen de cada actividad y la capacidad de carga del camión, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$NV_j = \frac{V_{material}(m^3)}{CapacidadCamión_j(m^3 / viaje)} \quad (4)$$

La capacidad de cada vehículo (Tabla 3.) depende de las especificaciones técnicas de cada vehículo, obtenidas de las fichas técnicas respectivas.

Tabla 3. Volumen de material, transporte y viajes a realizar por cada actividad.

Actividad	Volumen (m ³)	Medio de transporte	Capacidad (m ³)	Viajes (N°)
Excavaciones	1,4 x 10 ⁵	Batea	20	7083
Escarpe	700	Batea	20	35
Relleno estructural	1663	Batea	20	83
Fierros	3261	Camión plano	20	163
Tabiquería	456	Camión plano	20	22
Hormigón	3,1 x 10 ⁴	Mixer	8	3845
Puertas	550	Camión plano	20	27
Ventanas	320	Camión plano	20	16
Escombros	2376	Camión mediano	12	198

La distancia total recorrida por camión durante la etapa de construcción del proyecto (Tabla 4), se calcula a partir de las rutas y el número de viajes realizados por camión.

Tabla 4. Distancia recorrida por camión para el traslado de materiales y residuos.

Tipo de camión	Viajes (N°)	Distancia tráfico alto (km)	Distancia tráfico medio (km)	Distancia ruta no pavimentada (km)
Mixer	3845	$1,9 \times 10^5$	753	-
Batea	7201	$3,4 \times 10^5$	961	8,3
Mediano	198	9682	22	-
Plano	229	894	-	-
Total	$1,1 \times 10^4$	$5,5 \times 10^5$	1737	8,3

3.3 Metodología para la estimación de emisiones de MP_{10} Y NO_x .

Para estimar las emisiones producidas en la etapa de construcción del proyecto inmobiliario como caso de estudio, se deben considerar los factores de emisión de MP_{10} y NO_x para cada actividad y tipo de camión, establecidos en la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM", y los publicados en el Inventario de Emisiones del año 2005 desarrollado por DICTUC para la emisión de gases producida por las maquinarias.

3.3.1 Factores de emisión MP_{10}

En la Tabla 5. se muestran los factores de emisión de cada actividad de la etapa de construcción que genera emisiones de MP_{10} , utilizados para realizar la estimación de emisiones.

Tabla 5. Factores de emisión de MP10 de las principales actividades del proyecto.

Fuente Emisora	Factor de Emisión	Variables
Perforación (kg/perforación)	$5,9 \times 10^{-1}$	No utiliza
Escarpe (kg/km)	5,7	No Utiliza
Excavaciones (Kg/h)	$0,45 \times 0,75 \times \frac{s^{1,5}}{M^{1,4}}$	s: % de finos del material: 8,5% M: humedad del material: 6,5%
Transferencia de Material, carguío y volteo de camiones (Kg/toneladas)	$0,0016 \times 0,35 \times \frac{(U/2,2)^{1,3}}{(M/2)^{1,4}}$	u: Velocidad del viento (m/s) =5 M: Humedad del material (%) = 6,5
Levantamiento de polvo por tránsito de camiones (g/Km), Caminos pavimentados	$0,62 \times (sL)^{0,91} \times W^{1,02}$	W: Peso medio de la flota sL: 0,3 Tráfico Alto / 0,7 Tráfico Medio / 2,4 Tráfico Bajo
Levantamiento de polvo por tránsito de vehículos pesados (g/Km), camino sin pavimentar	$281,9 \times 1,5 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{0,45}$	s: % de finos en suelo = 8,5 W: Peso medio flota



Fuente Emisora	Factor de Emisión	Variables
Acopio de materiales (Kg/Ha/día)	$1,9 \times \left(\frac{s}{1,5}\right) \times \left(\frac{f}{15}\right)$	s: Contenido de fino del material (%) f: % de tiempo en que el viento excede los 5,4 m/s
Motores de los camiones y vehículos livianos (gr/km-viajes)	<i>Según tipo de vehículo</i>	V: Velocidad promedio = 50 km/hr
Motores de las maquinarias (g/día-maquinaria)	$FP \times t \times C \times W$	Los valores de estas variables serán desarrolladas en el respectivo capítulo

Fuente: "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM".

Los factores de emisión para camiones pesados, medianos y maquinarias (Tabla 6. y 7.), están determinados por la velocidad promedio de los camiones por el rendimiento y la potencia de las maquinarias.

Tabla 6. Factores de emisión de MP₁₀ para camiones pesados, medianos y maquinarias.

Fuente emisora	Factor de emisión MP ₁₀
Camiones Pesados Diesel Tipo 3 (EURO III)	1,5 x 10 ⁻¹ (g/km)
Camiones Medianos Diesel Tipo 3 (EURO III)	8,5 x 10 ⁻² (g/km)
Excavadora	1,1 (g/KWh)
Cargador frontal	1,1 (g/KWh)
Compactador	1,2 (g/KWh)
Grúa	2,2 (g/KWh)

3.3.2 Factores de emisión NO_x

Las actividades que generan emisiones de gases corresponden a la combustión interna de los motores de los camiones y maquinarias que son utilizados durante la construcción de las obras. Al igual que para la estimación de MP₁₀, se utilizan los datos entregados sobre el funcionamiento de maquinarias y camiones, además para los camiones se considera una velocidad de 50 (km/h).

El gas considerado en la estimación de emisiones es el NO_x, por lo tanto el cálculo de las emisiones se lleva a cabo con los factores de emisión de la Tabla 7.

Tabla 7. Factor de emisión de NO_x para el funcionamiento de camiones y maquinarias.

Fuente emisora	Factor de emisión
Camiones Pesados Diesel (EURO III)	6,7 (g/km)
Camiones Medianos Diesel (EURO III)	4,2 (g/km)
Retroexcavadora	14 (g/KWh)
Cargador frontal	14 (g/KWh)
Compactador	14 (g/KWh)
Grúa	14 (g/KWh)
Vibrador	14 (g/KWh)

Los factores de emisión para NO_x fueron determinados según lo indicado por el Inventario de Emisiones del año 2005 desarrollado por DICTUC.

3.4 Diseño de PCE para propuesta

Para diseñar el PCE propuesto, se realiza una investigación sobre factores de emisión actualizados para camiones y maquinarias que cuenten con tecnología más avanzada, un estudio de la normativa expuesta en el PPDA y un análisis de las actividades de la etapa de construcción del proyecto que producen mayores emisiones de NO_x y MP₁₀, se realiza una investigación sobre las medidas de los PCE alternativos como el uso de tecnologías limpias y la compra de emisiones de fuentes fijas. Luego se escoge la mejor opción para ser propuesta, evaluada y comparada con las medidas de los PCE convencionales.

La descripción del PCE propuesto se lleva a cabo mediante la presentación de las medidas de compensación establecidas, para las cuales se evaluará el costo económico y

los beneficios que implica su implementación en la etapa de construcción del proyecto inmobiliario como caso de estudio.

3.4.1 Metodología para la estimación de las emisiones de MP₁₀ Y NO_x, en base a medidas del PCE que será propuesto.

Para implementar las medidas del PCE que se proponga, se debe llevar a cabo una nueva estimación de emisiones de las actividades que se ven afectadas por las medidas del PCE. Esta emisión debe estar basada en la metodología descrita en la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios”, creada por CONAMA RM en 2001 y actualizada por SEREMI Medio Ambiente de la RM en Enero 2012.

3.5 Metodología para la descripción, evaluación y comparación del costo y beneficio ambiental de los pce convencionales para MP₁₀ Y NO_x.

Con la información disponible en la oficina de informaciones, reclamos y sugerencias (OIRS) del MMA a través del Sistema de Gestión de Solicitudes Ciudadanas, se describen los PCE convencionales que actualmente son usados para compensar emisiones de NO_x y MP₁₀ a partir de información verídica.

Para el PCE propuesto se considerará el hecho de que el titular debe contratar una empresa prestadora de servicios de construcción para llevar a cabo la construcción del proyecto inmobiliario, a partir de la cual se evalúa el costo de implementación del PCE propuesto.

Para la evaluación del costo y beneficio ambiental, primero se evaluará el costo económico de la implementación de cada PCE, considerando como 100% beneficioso para el medio ambiente, aquel PCE que le permita al titular reducir las emisiones lo necesario como para compensar el 150% de las emisiones producidas en la etapa de construcción de su proyecto, y luego se evaluará el beneficio ambiental de cada PCE. Una vez determinado el costo y el beneficio ambiental, se comparan los valores de los costos de la forestación, la pavimentación, la chatarrización y del PCE propuesto.

3.5.1 Chatarrización

Para evaluar el costo y beneficio de la chatarrización como PCE para NO_x , se obtienen los costos de la chatarrización de la empresa GERDAU, la cual compra chatarra para ser reutilizada.

En las empresas en las cuales realizan la chatarrización de vehículos, ya sea de camiones, buses, autos, etc. no cobran por chatarrizar sino mas bien compran la chatarra que cumple con los estándares que ellos exigen, para tener la seguridad de que la chatarra está en buen estado. El valor promedio al cual los chatarrizadores le compran la chatarra a sus proveedores es de \$100 por kilogramo de chatarra, este valor puede variar según el tipo de chatarra.

3.5.2 Pavimentación

La estimación de emisiones que se debe realizar antes de llevar a cabo la pavimentación de un tramo de calle como alternativa de compensación de emisiones, para calcular la reducción de emisiones que produce la pavimentación, debe estar hecha en base a la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM".

La compensación de emisiones de MP_{10} del proyecto por medio de la pavimentación, consistiría en pavimentar la calle Los Pinos de San Bernardo, la cual tiene una longitud de 1225 metros y un flujo vehicular medio/alto que considera entre 6000 y 9000 autos por hora (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2014). La ilustre municipalidad de San Bernardo, cuenta con un proyecto de pavimentación de esta calle, pero no cuenta con el presupuesto para ello, por lo que el proyecto de pavimentación de esta calle no está considerado en ninguna institución pública, solo cuenta con PCE aprobados de empresas privadas que suman la pavimentación de 229 metros de los 1225 metros de la calle, por lo tanto esta calle podría ser utilizada para la pavimentación como PCE.

Tabla 8. Parámetros para calcular la reducción de emisiones mediante la pavimentación.

Parámetro	Valor
Distancia pavimentada (km)	$3,0 \times 10^{-2}$
Fsp: Flujo total anual del proyecto para tránsito de vehículos pesados (km/año)	$7,4 \times 10^5$
Fesp: Factor de emisión camino sin pavimentar (g/km)	381
Fep: Factor de emisión camino pavimentado (g/km)	2,4
Esp: Emisión Camino Sin pavimentar (t/año)	8,4
Ep: Emisión Camino Pavimentado (t/año)	$5,5 \times 10^{-2}$

El costo de la pavimentación se calcula considerando que para pavimentar un metro de calle, se requieren 13,037 Unidades de Fomento (UF) según el municipio, con un valor de la UF de \$24.046,76.

3.5.3 Forestación

Para evaluar el costo y beneficio ambiental de la forestación como PCE, se utiliza la metodología descrita en el Manual Plan Verde (Manual Plan Verde, 2005). Los parámetros validos que se utilizan para evaluar el costo económico de la forestación están establecidos en el Manual Plan Verde (Manual Plan Verde, 2005), los cuales se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros para la compensación por forestación.

Tipo	Factor de compensación	Estándar de los árboles	Proporción especies	Prendimiento mínimo	Cantidad mínima de árboles
Creación y/o mantención de áreas verdes en parques urbanos	2.15 ha x 1 ton/año	2.5 mt de altura con fuste entre 1 y 2 pulgadas	85% nativas y 15% de exóticas	100% prendimiento	200 x ha
		2.5 mt de altura con fuste de a lo menos 2 pulgadas	85% nativas y 15% de exóticas	100% prendimiento	150 X ha
Creación y/o mantención de áreas verdes en cerros Islas	2.15 ha x 1 ton/año	2 mt de altura con fuste de más de 1 pulgada	85% nativas y 15% de exóticas	85% prendimiento	300 x ha
Creación y/o mantención de zonas de bosque nativo y áreas naturales	2.15 ha x 1 ton/año	1.5 mt de altura con fuste de más de 1 pulgada	100% nativos	85% prendimiento	400 x ha
Creación y/o mantención de nuevos metros lineales de arbolado en soleras	2.15 ha x 1 ton/año = 4.300 m lineales considerando 5 mt de ancho	Especies de raíz pivotante; 2.5 mt de altura con fuste de 2 pulgadas	85% nativas y 15% de exóticas	100% prendimiento	100 x 1.000 m lineal
Creación áreas verdes en espacios privados urbanos	2.15 ha x 1 ton/año Debe ser adicional al 7% de LGUC	2.5 mt de altura con fuste entre 1 y 2 pulgadas	85% nativas y 15% de exóticas	100% prendimiento	300 x ha
Creación Cortinas Verdes de áreas verdes en espacios privados urbanos	2.15 ha x 1 ton/año Debe ser adicional al 7% de LGUC	2.5 mt de altura con fuste entre 1 y 2 pulgadas	85% nativas y 15% de exóticas	100% prendimiento	300 ha

Fuente: Manual Plan Verde

En la tabla 9 se entregan los factores de compensación del diseño o mantención de áreas verdes, además del número de árboles correspondientes a dicho factor de compensación. Estos datos permitieron calcular el costo económico que implica la creación de áreas verdes como PCE para compensar emisiones de MP₁₀.

3.6 Metodología para la recomendación de mejoras en la gestión ambiental de los PCE.

Durante la descripción, la evaluación y el análisis del costo económico y de los beneficios de cada PCE presentado en este trabajo, se detectan problemas en una serie de aspectos que influyen directamente en la implementación de los PCE. Luego de reconocer el problema, se establecen recomendaciones útiles para mejorar las falencias de los aspectos relacionados con la gestión ambiental de los PCE.

IV. RESULTADOS

A partir de los antecedentes recopilados sobre el diseño e implementación de los PCE, su importancia para la recuperación de la calidad de aire en la RM, la necesidad de optimizar y aumentar el número de alternativas de los PCE, se llevó a cabo el desarrollo de los resultados de este Seminario de Título con la metodología presentada.

4.1 Antecedentes del proyecto Inmobiliario

El proyecto inmobiliario de la RM como caso de estudio es el que fue descrito en la sección 3.1 del diseño metodológico, a continuación se describe la ubicación, el cronograma de actividades y las actividades de la etapa de construcción del proyecto.

4.1.1 Ubicación del proyecto

El proyecto será emplazado en la comuna Las Condes de la RM, la cual es una comuna totalmente urbanizada. con una superficie de 99,4 km² de la cual 43,98 km² corresponden a áreas urbanas y 52,02 km² de protección y mantención de áreas verdes.

En la figura 1. se muestra una imagen satelital de la ubicación del proyecto inmobiliario.

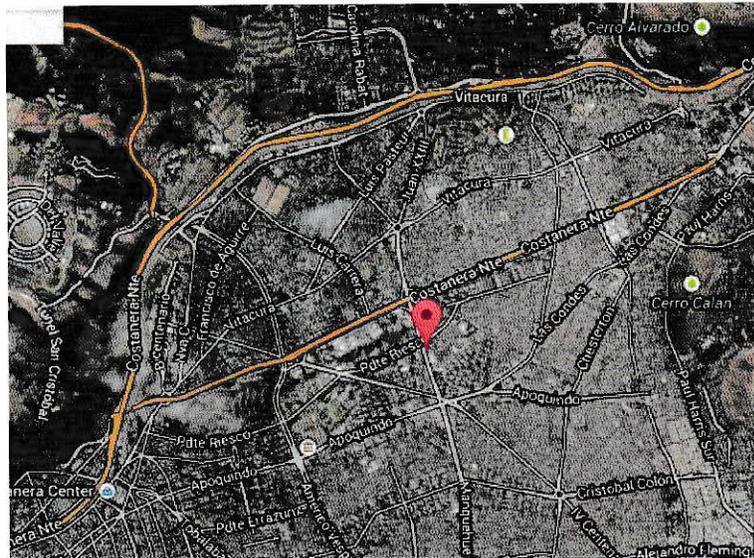


Figura 1. Ubicación del proyecto tipo

Durante la etapa de construcción del proyecto inmobiliario, se deben considerar las emisiones de las actividades de intervención directa del sitio donde se realiza el proyecto, las asociadas al transporte y disposición del material extraído, y al transporte de los materiales necesarios para la construcción.

4.1.2 Cronograma de actividades del Proyecto Inmobiliario

El cronograma del proyecto como caso de estudio, en el que se definen los plazos en los que se llevará a cabo la construcción de éste se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Cronograma de Construcción del proyecto tipo.

Descripción	Plazo Ejecución Obra															
	Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fundaciones, muros perimetrales	5															
Obra Gruesa Subterráneos	5															
Obra Gruesa exteriores	4															
Obra Gruesa	5															
Terminaciones	4															
Instalaciones	3															
Obras Exteriores	3															
Recepción Final	1															

4.2 Estimación de emisiones producidas en la etapa de construcción, en base a la metodología de la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM".

A continuación se dan a conocer las emisiones generadas por el proyecto en su etapa de construcción para MP_{10} , NO_x , para lo cual serán consideradas todas las actividades de la etapa de construcción con sus respectivos factores de emisión entregados en la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas para Proyectos Inmobiliarios" (SEREMI de Medioambiente RM, enero de 2012).

4.2.1 Estimación de las emisiones de MP_{10}

A continuación se muestra el detalle del cálculo de las emisiones de MP_{10} generadas por cada actividad durante la etapa de construcción del proyecto tipo.

a) Excavaciones

Durante esta actividad será excavado un volumen de 141.666 m^3 , con una excavadora de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ de rendimiento y una capacidad de palada de $1,0 \text{ m}^3$. Con esto se obtuvo que la duración de esta actividad será de 4.722 h .

La emisión total de esta actividad se obtiene multiplicando el factor de emisión (expresado como kilogramo de material removido por hora) que tiene un valor de $6,1 \times 10^{-1}$ por la cantidad de horas que dura la actividad (4722). Con esto se obtiene que la emisión de MP_{10} durante la excavación es de $2,8$ toneladas de MP_{10} .

a) Transferencia discreta de materiales

Esta actividad se divide en Carguío de camiones y Volteo de camiones, la unidad del factor de emisión corresponde a kilogramos emitidos por cada tonelada de material cargado o descargado.. En el carguío de camiones se considera como volumen total la suma del material escarpado y excavado. Mientras que para el volteo se considera como volumen total la suma del material escarpado, excavado y el relleno estructural. Además para ambos casos se considera una densidad de $1,9 \text{ ton/m}^3$.

En la Tabla 11. se muestran los volúmenes considerados para cada actividad y sus respectivas emisiones de MP_{10} .

Tabla 11. Cálculo de emisiones por carguío y volteo de camiones.

Actividad	Volumen de material (m^3)	Peso del Material (Ton)	Factor de emisión (kg/ton)	Emisión de MP_{10} (ton)
Carguío	$1,4 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	$3,1 \times 10^{-4}$	$8,5 \times 10^{-2}$
Volteo	$1,4 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	$3,1 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-2}$

Fuente: Elaboración propia

b) Circulación de vehículos pesados por caminos no pavimentados

Las emisiones de esta actividad se miden como kilogramos de MP_{10} resuspendido por kilometro que recorre un vehículo pesado que transita por un camino no pavimentado.

El peso promedio de la flota de camiones se calculó considerando el peso promedio de todos los camiones con y sin carga en función al número de viajes realizado por tipo, obteniendo un peso promedio de 34 Ton.

En los datos del proyecto inmobiliario, se informa que los vehículos recorren una distancia de 8,315 Km por caminos no pavimentados, por lo tanto con un factor de emisión de 0,9244(kg/Km), se obtiene que las emisiones de MP₁₀ para esta actividad son de 0,0076 toneladas.

c) Circulación de vehículos pesados por caminos pavimentados

Esta actividad depende del flujo de vehículos, y produce emisiones atmosféricas por la resuspensión de MP₁₀ debido al tránsito de vehículos por caminos pavimentados. La unidad de este factor de emisión esta expresada en gramos de MP₁₀ emitidos por kilómetro recorrido.

Para el cálculo de los factores de emisión, se consideró la carga de finos entregado en la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios”.

Tabla 12. Contenido de finos por flujo de vehículos.

Bajo $F \leq 500$	Medio $500 > F > 10.000$	Alto $F > 10.000$
2,4 gr/m ²	0,7 gr/m ²	0,3 gr/m ²

Fuente: Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM.

En la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM” se indica que el peso utilizado para el cálculo del factor de emisiones (W) debe ser el “*peso promedio de la flota que circula por las vías por donde circula la flota del proyecto, toneladas métricas*”, Pero, debido a que no existe un registro del peso de los vehículos que circulan por las vías de Santiago asociadas al proyecto, se utilizará el valor por defecto indicado en la guía, el cual corresponde a 8 ton.

En la Tabla 13. se entrega un resumen con las emisiones de MP₁₀ resuspendido generados por el tránsito de camiones medianos, livianos, Mixer y Batea que circulan por rutas de tráfico alto, bajo y medio.

Tabla 13. Emisiones de MP₁₀ resuspendido por la circulación de camiones.

Camión	Tipo de ruta	Distancia (km)	Factor de Emisión (Kg/Km)	Emisión (Ton)	Abatimiento por lluvia (Ton)	Emisión total por ruta (Ton)	Emisión total MP ₁₀ (Ton)
Mixer	Alto Tráfico	197.652	$2,0 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-1}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-1}$	$3,4 \times 10^{-1}$
	Tráfico Medio	753	$4,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-3}$	-	$3,0 \times 10^{-3}$	
	Tráfico Bajo	-	$1,1 \times 10^{-2}$	-	-	-	
Batea	Alto Tráfico	349.107	$2,0 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-1}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$5,9 \times 10^{-1}$	$6,0 \times 10^{-1}$
	Tráfico Medio	961	$4,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	-	$4,0 \times 10^{-3}$	
	Tráfico Bajo	-	$1,1 \times 10^{-2}$	-	-	-	
Plano	Alto Tráfico	894	$2,0 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	-	$2,0 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-2}$
	Tráfico Medio	-	$4,0 \times 10^{-3}$	-	-	-	
	Tráfico Bajo	-	$1,1 \times 10^{-2}$	-	-	-	
Mediano	Alto Tráfico	9.682	$2,0 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	-	$1,7 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$
	Tráfico Medio	22	$4,0 \times 10^{-3}$	-	-	-	
	Tráfico Bajo	-	$1,1 \times 10^{-2}$	-	-	-	
Total		559.073		$9,7 \times 10^{-1}$		$9,6 \times 10^{-1}$	$9,6 \times 10^{-1}$

Fuente: Elaboración propia

d) Erosión de material en pilas (acopios)

Para la estimación del MP_{10} producto de la erosión de material en pila se estimó una superficie de almacenamiento de 250 m^2 durante la etapa de construcción por un total de 260 días al año. Con un factor de emisión de 3,59 (Kg/ha/día) para esta actividad, se obtuvo una emisión de MP_{10} de $2,3 \times 10^{-2}$ toneladas.

e) Combustión de motores de camiones y maquinarias

La combustión de motores produce la emisión de MP_{10} hacia la atmosfera, como producto de la combustión de motores de los camiones y maquinarias utilizadas para llevar a cabo las actividades correspondientes a la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario, a continuación se muestra la estimación de emisiones realizada tanto para camiones como para maquinarias.

Las emisiones producidas por la combustión de los motores de los camiones están determinadas por la distancia que recorren, para los cuales se consideró una velocidad de circulación de 50 km/h.

Las emisiones producidas por las maquinarias fueron calculadas a partir de los niveles de actividad para maquinarias, establecidos en el Inventario de emisiones del año 2005 de la DICTUC, y los factores de emisión de la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios". Además, para la excavadora se consideró el tiempo estimado de duración de las actividades de excavación, cuyo valor es 4722 (h).

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las emisiones de MP_{10} producidas por las maquinarias y por cada tipo de camión.

Tabla 14. Emisiones de MP10 por combustión del motor de los camiones y maquinarias.

Fuente emisora	Emisión de MP ₁₀ (ton)
Camiones Pesados Diesel Tipo 3 (EURO III)	$8,4 \times 10^{-2}$
Camiones Medianos Diesel Tipo 3 (EURO III)	$9,0 \times 10^{-4}$
Excavadora	$8,8 \times 10^{-1}$
Cargador frontal	$1,1 \times 10^{-2}$
Compactador	$5,1 \times 10^{-3}$
Grúa	$3,7 \times 10^{-2}$
Vibrador	$2,5 \times 10^{-2}$

En la Tabla 14 se observa que la combustión de los motores de camiones pesados producen el doble de las emisiones de MP₁₀ que producen los camiones livianos.

4.2.2 Resumen de los resultados del cálculo de emisiones de MP₁₀

En la Tabla 15. se presenta un resumen de las emisiones de material particulado generadas por cada actividad involucrada en la construcción del proyecto.

Tabla 15. Resumen de emisiones de MP₁₀ por actividad de la etapa de construcción.

Actividad	Emisiones totales de MP₁₀
Escarpe	2,0 x 10 ⁻²
Excavaciones	2,8
Carguío y Volteo de camiones	
Excavación y escarpe	8,5 x 10 ⁻²
Volteo de camiones	8,5 x 10 ⁻²
Tránsito de camiones por caminos no pavimentados	
Vehículos pesados	7,6 x 10 ⁻³
Tránsito de camiones por caminos pavimentados	
Tráfico Alto	
Mixer	3,4 x 10 ⁻¹
Batea	5,9 x 10 ⁻¹
Plano	1,5 x 10 ⁻³
Mediano	1,6 x 10 ⁻²
Tráfico Medio	
Mixer	2,8 x 10 ⁻³
Batea	3,6 x 10 ⁻³
Plano	0,0
Mediano	1,0 x 10 ⁻⁴
Erosión de material de acopio	2,3 x 10 ⁻²
Emisiones de combustión	
Camiones	8,5 x 10 ⁻²
Maquinarias	9,6 x 10 ⁻¹
Total	5,1

En la Tabla 15 se observa que las actividades de la etapa de construcción del proyecto que generan una mayor emisión de MP_{10} , corresponden a la excavación que produce una emisión de 2,8 toneladas, seguido por el tránsito de camiones por caminos pavimentados que produce una emisión de 0,9 toneladas de MP_{10} .

4.2.3 Estimación de emisiones de NO_x generadas por camiones y maquinarias

Con los datos entregados en la sección anterior se estimaron las siguientes emisiones de gases asociadas al funcionamiento de motores de camiones y maquinarias.

La Tabla 16. entrega los resultados obtenidos para las emisiones producto de la combustión de los motores de camiones y maquinarias.

Tabla 16. Emisiones de NO_x por combustión de motores de camiones y maquinarias.

Tipo de Vehículo	Emisiones totales (ton)
Camiones Pesados Diesel Tipo 3 (EURO III)	3,6
Camiones Medianos Diesel Tipo 3 (EURO III)	$4,5 \times 10^{-1}$
Excavadora	11
Cargador frontal	$1,4 \times 10^{-1}$
Compactador	$5,9 \times 10^{-2}$
Grúa	$2,4 \times 10^{-1}$
Vibrador	$2,4 \times 10^{-1}$
Total	16

Es importante destacar que en el caso de las maquinarias el cálculo de emisiones se obtiene de la multiplicación directa de las variables que forman parte del factor de emisión.

A partir de los resultados expuestos en la tabla 16, es posible afirmar que la maquinaria responsable de las mayores emisiones de NO_x corresponde a la retroexcavadora que emite 11 toneladas durante la etapa de construcción del proyecto.

4.2.4 Emisiones totales de MP₁₀ y NO_x en base a la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM".

En la Tabla 17. se muestran los resultados de las emisiones totales de MP₁₀ y NO_x y los límites permitidos por la normativa ambiental vigente.

Tabla 17. Emisiones anuales y compensación según límite del PPDA.

Contaminante	Emisión total (ton)	Emisión año 1 (ton)	Emisión año 2 (ton)	Límite PPDA (ton)	Compensación 150%
MP ₁₀	5,0	4,0	1,0	2,5	6,0
NO _x	16,0	12	4,0	8,0	18

Según la Tabla 19. el proyecto debe compensar sus emisiones de MP₁₀ y NO_x, ya que estas en el primer año de la etapa de construcción superan el límite de emisión máximo establecido en el artículo 98 del D.S N° 66.

En la Figura 2. y en la Figura 3. se muestra la distribución de las emisiones de MP₁₀ y NO_x, producidas por cada actividad de la etapa de construcción del proyecto inmobiliario como caso de estudio, según las cuales fueron determinadas las medidas del PCE propuesto.



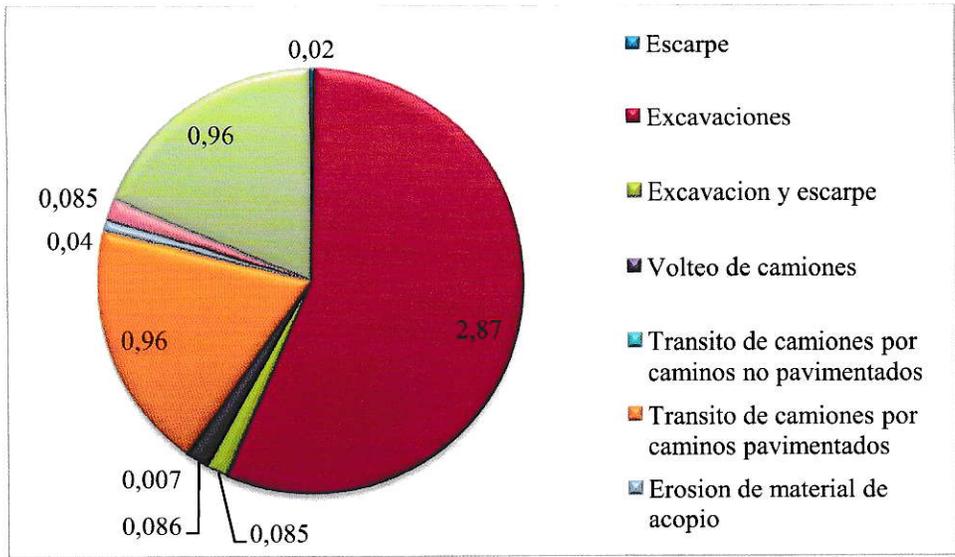


Figura 2. Distribución de emisiones de MP₁₀ por actividad.

En la Figura N° 2 se puede observar que las actividades en las cuales se produce una mayor emisión de MP₁₀ son la excavación, seguido por el tránsito de camiones por caminos pavimentados, en las cuales se genera MP₁₀ resuspendido.

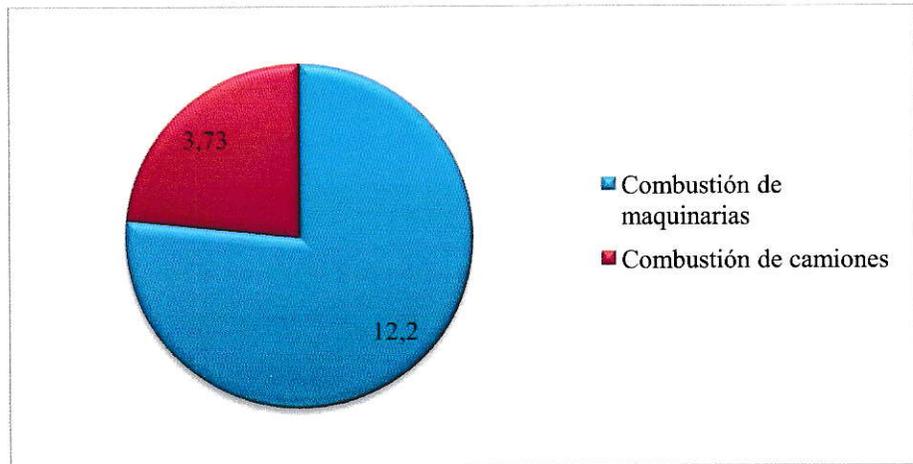


Figura 3. Distribución de emisiones de NO_x por actividad.

En la Figura N° 3 se puede observar que las mayores emisiones de NO_x se producen en la combustión de maquinarias, motivo por el cual el PCE propuesto además está enfocado en la disminución de las emisiones de NO_x producto de la combustión de maquinarias.

En base a estos resultados es que se proponen las medidas mencionadas anteriormente, que en términos simples consisten en el uso de una retroexcavadora con una capacidad de palada de 1,5 m³, para disminuir las emisiones de NO_x de la actividad de excavación, la renovación de las tecnologías del motor de los camiones para disminuir las emisiones producidas por el tránsito de camiones por caminos pavimentados, y el uso de una excavadora con un rendimiento de 60 m³/h para disminuir las emisiones de MP₁₀ resuspendido.

4.3 PCE propuesto.

4.3.1 Descripción de las medidas de compensación del PCE propuesto

A continuación se presenta el PCE propuesto en este Seminario de Título, para disminuir las emisiones de NO_x y MP₁₀ producidas en la etapa de construcción del proyecto inmobiliario como caso de estudio.

El PCE propuesto consiste básicamente en implementar las medidas que se muestran a continuación:

- Actualización de los factores de emisión de camiones pesados diesel de norma EURO III, por los factores de emisión actualizados de camiones pesados diesel con mejor combustión del motor, de norma EURO IV establecida por la EPA, por medio del contrato de una empresa de construcción que use maquinarias inscritas a partir del 2 enero del 2012. En esta medida se debe considerar que la constructora contratada cuenta con camiones que tienen la tecnología necesaria para cumplir con la normativa Europea.
- Actualización de las normas de emisión para excavadoras, establecida en el Inventario de Emisiones del año 2005 desarrollado por DICTUC, por las normas de emisión establecidas en el artículo 12 del D.S N° 66 de 2010.

- Uso de tecnologías más limpias, por medio del contrato de una empresa prestadora de servicios de construcción que utilice una retroexcavadora con una capacidad de pala mayor a 1m^3 , es decir una retroexcavadora de mayor rendimiento.

A continuación se describen en detalle las medidas del PCE propuesto, con los respectivos factores de emisión actualizados, y la nueva estimación de emisiones producidas en la etapa de construcción del proyecto inmobiliario.

En la figura 4. se presenta el modelo de excavadora escogido para disminuir las emisiones generadas durante la excavación.

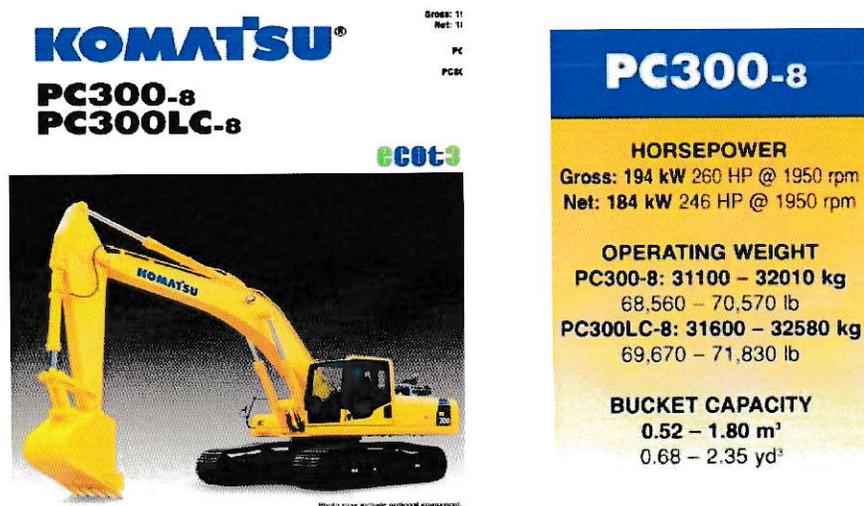


Figura 4. Excavadora Komat´s propuesta para la actividad de excavación del proyecto.

A continuación se describen los factores de emisión actualizados, los cuales fueron utilizados para realizar la estimación de emisiones del proyecto inmobiliario

4.3.2 Factores de emisión de MP₁₀ y NO_x para la excavadora y camiones pesados

Los factores de emisión utilizados para calcular las emisiones de MP₁₀ y NO_x producidas por la combustión de camiones pesados Diesel Tipo 3 (EURO IV), y por la combustión de la retroexcavadora Komat' su se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Factores de emisión de MP₁₀ para camiones pesados Diesel Tipo 3 (EURO IV) y de las maquinarias.

Fuente emisora	Factor de emisión MP ₁₀	Factor de emisión NO _x
Camiones Pesados Diesel Tipo 3 (EURO IV)	0,038 (g/km)	5,03 (g/km)
Excavadora	0,02 (g/KWh)	5 (g/KWh)

4.3.3 Estimación de emisiones de MP₁₀ producto de la actividad de excavación.

Para implementar las medidas de compensación del PCE propuesto para las emisiones de NO_x y MP₁₀, se lleva a cabo la estimación de emisiones de la actividad de excavación.

La nueva excavadora presenta las siguientes características: i) Rendimiento de 60 m³/h, ii) Capacidad de palada de 1,5 m³, Potencia de 184 kW. Con esto se disminuye la cantidad de horas de duración de la actividad de excavación de 4722,2 a 2361,1 h.

La emisión total de MP₁₀ de esta actividad se obtiene de la misma manera presentada anteriormente, multiplicando el factor de emisión (expresado como kilogramo de material removido por hora) por la cantidad de horas que dura la actividad. Con el factor de emisión de 0,6086 (kg/h) y la duración de la actividad de 2361,1 horas, se obtuvo una emisión de MP₁₀ de 1,4369 toneladas.

4.3.4 Estimación de las emisiones de MP_{10} y NO_x producto de la combustión de camiones y maquinarias.

La estimación de emisiones de NO_x y MP_{10} producidas por la combustión de los motores de camiones pesados que incluyen camiones Bateas y Mixer, se realizó con los factores de emisión presentados en el documento AP42 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Mientras que la estimación de emisiones de NO_x y MP_{10} producidas por las maquinarias fueron determinadas de acuerdo a las normas de emisión para vehículos pesados, disponibles en la tabla 12 del artículo 12, presente en el D.S 66/2009 (PPDA).

El artículo 12 del D.S 66 establece que los vehículos pesados con motor diesel que hayan sido inscritos a contar del 1 de enero de 2012 en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados, podrán circular por la Región Metropolitana siempre y cuando estén aptos técnicamente para cumplir con los niveles máximos de emisión permitidos en él, para monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metálicos (HCNM), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (MP)".

Utilizando los factores de emisión de la EPA, con un valor de 0,038 (g/Km) para camiones pesados Diesel Tipo 3 (EURO IV) y la distancia recorrida por camión que corresponde a 548.483,18 (km), se obtiene que las emisiones de MP_{10} producidas por camiones pesados son de 0,021 toneladas.

Considerando la norma de emisión para vehículos pesados del DS 66 de 2010 (PPDA), y los parámetros de la retroexcavadora propuesta, se obtienen las emisiones de MP₁₀ y NO_x producto de la combustión de los motores de maquinarias, las cuales se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Emisión de MP₁₀ y NO_x por cada maquinaria.

Maquinaria	Emisión MP ₁₀ (Ton/año)	Emisión de NO _x (Ton/año)
Excavadora	1,6 x 10 ⁻²	2,2
Cargador frontal	1,1 x 10 ⁻²	0,14
Compactador	5,1 x 10 ⁻³	5,9 x 10 ⁻²
Grúa	3,8 x 10 ⁻²	0,24
Vibrador	2,6 x 10 ⁻²	0,25
Total	8,8 x 10 ⁻²	2,86

4.3.6 Resultados de la estimación de emisiones de NO_x y MP₁₀ generadas por la combustión de motores de camiones y maquinarias.

A partir de la estimación de las emisiones generadas como producto de la combustión de los motores correspondientes a camiones y maquinarias, se obtuvieron las siguientes emisiones de NO_x y MP₁₀ resumidas en la tabla 20.

Tabla 20. Emisiones de NO_x y MP₁₀ generadas por la combustión de camiones y maquinarias.

Contaminante	Camión Pesado (Ton/año)	Camión Mediano (Ton/año)	Maquinarias (ton/año)	Total (Ton/año)
MP10	2,1 x 10 ⁻²	9,0 x 10 ⁻⁴	8,8 x 10 ⁻²	1,1 x 10 ⁻¹
NOx	2,76	4,5 x 10 ⁻²	2,86	5,66

En la tabla 20, se observa que la combustión de los motores de camiones y maquinarias produce una gran emisión de NO_x, la cual alcanza las 5,66 toneladas por año.

4.3.7 Resumen de emisiones de NO_x y MP₁₀ en base al PCE propuesto.

En la Tabla 21. se muestran los valores totales obtenidos en la estimación de emisiones de NO_x y MP₁₀ producidas en la etapa de construcción del proyecto para el año 1 y 2, utilizando los nuevos factores de emisión.

Tabla 21. Emisiones totales de la etapa de construcción.

Contaminantes	Emisión (Ton/año)	Emisión año 1 (ton)	Emisión año 2 (ton)	Limite PPDA
MP ₁₀	2,74	2,19	0,55	2,5
NO _x	5,66	4,53	1,13	8,0

Según los resultados de las emisiones de NO_x y MP₁₀ obtenidas con el PCE propuesto, ya no sería necesario compensar las emisiones de NO_x ni las de MP₁₀, ya que en ambos casos se cumple con la normativa de emisión del PPDA.

4.4 Comparación de los resultados de las estimaciones realizadas en base a la metodología de la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios para la RM" y del PCE propuesto.

A continuación se muestra una comparación de los resultados obtenidos para la estimación de emisiones que se realizó en base a la metodología de la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios" y en base a las medidas del PCE propuesto.

Al proponer el uso de camiones pesados con norma EURO IV, resulta necesario actualizar los factores de emisión, en la Tabla 22. se muestran las emisiones de MP₁₀ y NO_x obtenidas a partir de los factores de emisión de la "Guía para la Estimación de

Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM" para camiones con norma EURO III y los factores de emisión de la EPA para camiones con norma EURO IV.

Tabla 22. Emisión de MP₁₀ y NO_x por camiones pesados con factores de emisión de la Guía y de la EPA.

Contaminante	Emisión total por camiones con EPA (Ton)	Emisión total por camiones con guía (Ton)	Diferencia (Ton)
MP ₁₀	2,1 x 10 ⁻²	8,5 x 10 ⁻²	6,4 x 10 ⁻²
NO _x	2,76	3,69	9,3 x 10 ⁻¹

Los resultados obtenidos para las emisiones de MP₁₀ y NO_x calculadas con la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios", muestran que se emite 9,3 x 10⁻¹ toneladas más de NO_x por año y 6,4 x 10⁻² toneladas de MP₁₀.

En la Tabla 23. se muestran los resultados de las estimaciones realizadas para la actividad de excavación, con la excavadora establecida en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios" y la excavadora Komat'su PC 300-8 propuesta en este Seminario de Titulo.

Tabla 23. Emisiones de MP₁₀ en la actividad de excavación con la excavadora de la guía y la propuesta.

Contaminante	Emisión MP ₁₀ excavadora propuesta (ton)	Emisión MP ₁₀ excavadora guía (ton)	Diferencia emisión MP ₁₀ (ton)
MP ₁₀	1,44	2,87	1,43

Se puede observar que al renovar las maquinarias, de manera que estas tengan un mayor rendimiento, se logra una disminución del periodo de tiempo por el cual se generan gases contaminantes, e inmediatamente se obtiene una emisión de toneladas de MP₁₀ por año reducida a la mitad.

A partir de la estimación de emisiones de MP₁₀ y NO_x para la actividad de combustión de los motores de las maquinarias con la excavadora propuesta en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios" y los obtenidos con la excavadora Komat'su PC 300-8 propuesta, se puede realizar una comparación entre ambos, y analizar el cumplimiento de la normativa.

Tabla 24. Emisiones de MP₁₀ y NO_x con los parámetros de la Guía y los propuestos.

Contaminante	Emisión según PCE propuesto (ton)	Emisión según guía (ton)	Diferencia (ton)
MP ₁₀	8,8 x 10 ⁻²	9,6 x 10 ⁻¹	0,8743
NO _x	2,86	12,2	9,34

En la tabla 24 se puede observar una gran diferencia en las emisiones de NO_x, al realizar las estimaciones considerando las normas de emisión establecidas en el artículo 12 del D.S 66, y los parámetros de la excavadora propuesta para la actividad de excavación, la disminución en las emisiones de NO_x es de 9,34 toneladas, mientras que para MP₁₀ son de 0,8743 toneladas.

En la Tabla 25. se muestran los resultados obtenidos para el primer año de construcción del proyecto inmobiliario, según la estimación de emisiones de NO_x y MP₁₀ en base a la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios de la RM" y en base al PCE propuesto.

Tabla 25. Emisiones del primer año de construcción según la Guía y el PCE propuesto.

Contaminantes	Emisión año 1 PCE propuesto (ton)	Emisión año 1 Guía (ton)	Diferencia (ton)	Diferencia (%)
MP ₁₀	2,2	4,0	1,8	45
NO _x	4,5	12	7,5	62,5

En esta tabla se puede observar que al aplicar las medidas de compensación del PCE propuesto, las emisiones totales de MP₁₀ disminuyen un 45%, mientras que las emisiones de NO_x disminuyen un 62,5%.

4.5 PCE convencionales utilizados para compensar las emisiones de MP₁₀ y NO_x en la RM.

Como se dijo anteriormente, los PCE convencionales que son utilizados para compensar las emisiones de proyectos que superan la normativa ambiental, corresponden a la forestación y pavimentación para compensar las emisiones de MP₁₀, y la chatarrización para compensar las emisiones de NO_x.

A continuación se describe los beneficios ambientales y el costo de implementación de cada uno de los PCE convencionales para compensar el 150% de las emisiones de MP₁₀ y NO_x.

4.5.1 La forestación para compensar emisiones de MP₁₀.

Es importante destacar que el costo económico se obtuvo considerando el factor de compensación de 2,15 hectáreas de áreas verdes para compensar 1 tonelada de MP₁₀, entregado en la tabla correspondiente a los parámetros para la compensación por forestación, establecida en el Manual Plan Verde.

Si las emisiones totales de MP_{10} del proyecto alcanzan un valor de 4,0 toneladas en el primer año, el 150% a compensar será de 6,0 toneladas por año como se muestra en la tabla 25, es decir se debe realizar la creación y/o mantención de 13 ha de áreas verdes.

Dentro de la ficha de especies que se entrega en el Manual del Plan Verde, se muestran las opciones de los arboles que pueden ser utilizados para fines de compensación de emisiones, uno de ellos es el Quillay. Esta especie tiene la capacidad para adaptarse a climas secos y áridos, por este motivo es conocida como una especie tolerante, es de hojas perennes, puede alcanzar hasta los 15 metros de altura y su tronco puede llegar a medir hasta 1 metro de diámetro. Si consideramos esta especie para la creación de áreas verdes, con un costo de 3900 pesos por árbol, y según los datos de la tabla 33, la forestación como medida de compensación tendría los siguientes costos para cada tipo de forestación.

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo realizado para obtener el costo que implica la compensación del 150% de las emisiones de MP_{10} generadas por el proyecto.

Se sabe que para la creación de áreas verdes en espacios privados urbanos, el factor de compensación por una hectárea de 300 árboles es 2,15, por lo tanto si se necesitan compensar 6,13 toneladas de MP_{10} , el número de hectáreas que se deben forestar es:

$$6,13 \times 2,15 = 13,2 \text{ hectáreas}$$

Luego, el número total de árboles que se deben plantar es:

$$13 \text{ hectáreas} \times 300 \text{ árboles/hectárea} = 3900 \text{ arboles}$$

Por último, si un árbol de quillay tiene un costo de \$3900, entonces:

$$3900 \text{ árboles} \times \$3900 = 15.444.000 \approx 15.000.000$$

En forma similar y aplicando los factores correspondientes se calcularon los costos para cada tipo de forestación.

Tabla 26. Costos de la forestación por tipo de área verde.

Tipo	Cantidad de arboles por ha	Costo por ha	Costo para compensar el 150% (\$)
Creación de cortinas verdes de áreas verdes en espacios privados urbanos	300	1.170.000	15.400.000
Creación áreas verdes en espacios privados urbanos	300	1.170.000	15.400.000
Creación y/o mantención de nuevos metros lineales de arbolado en soleras	100 x 1000m de lineal	390.000	5.100.000
Creación y/o mantención de zonas de bosque nativo y áreas naturales	400	1.560.000	20.500.000
Creación y /o mantención de áreas verdes en cerros islas	300	1.170.000	15.400.000

Creación y/o mantención de áreas verdes en parques urbanos	200	780.000	10.000.000
---	-----	---------	------------

Según la tabla 26, el costo económico de la mantención de áreas verdes como Plan de Compensación de emisiones está entre los 5 y 20 millones de pesos y el costo de la creación y posterior mantención de áreas verdes es el doble, es decir entre 10 y 40 millones de pesos dependiendo del tipo de área verde.

Además, la creación de un área verde implica la mantención de esta, que permita cumplir con los cuidados necesarios para el crecimiento de las especies que se deseen plantar, algunos de los cuidados son: i) Diagnóstico, prevención, control de plagas y patologías, ii) Programa de fertilización de áreas verdes, iii) Control de Maleza y Corte de Césped, iv) Podas, v) Reparación de fustes dañados mecánicamente o por acción de patógenos, vi) Limpieza.

Esta mantención también tiene un costo económico asociado, que se extiende por los 5 años que se exigen en el Manual Plan Verde, para asegurar el crecimiento y desarrollo de la vegetación en el área verde creada. Este costo va a depender del tipo de área verde, la ubicación y la cantidad de hectáreas que se deban mantener.

La acción de los arboles como sumidero de contaminantes se puede dar mediante los siguientes mecanismos: i) absorción por las hojas; ii) depósito de partículas y aerosoles sobre la superficie de las hojas, iii) caída de partículas de contaminantes en suspensión al chocar con una barrera vegetal; iv) fotosíntesis.

Es por esto que es de gran importancia la especie a utilizar para crear más áreas verdes, idealmente las especies a incorporar deben tener principalmente las siguientes características: bajos costos de mantención, especies nativas que estén acondicionadas con el clima y geografía de la región, poseer hojas anchas para una mayor absorción de contaminantes, tener follaje durante todo el año para tener un sumidero más eficiente que

elimine una mayor cantidad de contaminantes, tener resistencia a la contaminación, tener un bajo requerimiento hídrico, y por ultimo deben ser resistentes a plagas y enfermedades.

4.5.2 La pavimentación para compensar emisiones de MP₁₀.

A partir de la ecuación 2, 3 y 4 se calculó la reducción de emisiones producidas por la pavimentación de calles, el costo que saldría pavimentar los 30 metros de la calle Los Pinos de San Bernardo necesarios para compensar el 150% de las emisiones de MP₁₀, sería de 391,11 UF que equivale a 9.404928 millones de pesos. Esto quiere decir que se deben invertir 51,06 UF por cada tonelada que se deba compensar.

Tabla 27. Reducción de emisiones a partir de la pavimentación.

RE: Reducción de Emisiones (t/año)	8,4
Costo económico (MM\$)	9.400.000

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de mediciones realizadas en octubre del 2012 por INGEA Ltda, presentadas en Anexo 2 del PCE de Junio 2013.

En la tabla 27 se puede observar que la reducción de emisiones debido a la pavimentación es de 8,4 ton/año, lo cual cumple con la compensación del 150% de las emisiones de MP₁₀ del proyecto de 6,1 ton/año, considerando la pavimentación de 30 metros de la calle Los Pinos de San Bernardo.

4.5.3 La chatarrización para compensar emisiones de NO_x.

Dentro de los beneficios de la chatarrización, se encuentra la disminución de la contaminación del suelo, agua y de la atmosfera. Para promover la chatarrización de vehículos antiguos y el reciclaje de la chatarra, es importante contribuir con la recolección,

el almacenamiento, procesamiento y transporte hacia las instalaciones en donde se lleva a cabo la chatarrización.

La chatarra que es reciclada en Chile, equivale al 20% del total de acero producido (Gerdau, 2014), a pesar de que no es un valor menor, es bajo comparado con países industrializados, y significa un grave problema ya que el resto del acero que podría ser reutilizado como materia prima se está perdiendo y contaminando el medio ambiente. El reciclaje del acero también ayuda a conservar los recursos naturales. En el año 2006, en Chile se evitó la explotación de 750.000 toneladas de mineral de hierro y más de 400.000 toneladas de carbón, generando un ahorro del 75% de la energía usada para la obtención del hierro mineral (Manual del Proveedor de Chatarra, 2008), energía que anualmente equivale al suministro de la electricidad necesaria para la primera región de nuestro país.

Para estimar las emisiones de NO_x que pueden ser compensadas por cada camión chatarrizado, y luego calcular el costo económico de la chatarrización, se considerara la estimación de las emisiones producidas por la combustión de camiones pesados.

Se sabe que cada camión pesado emite 2,7 toneladas por año de NO_x, por lo tanto, para compensar el 150% de las emisiones de la etapa de construcción del proyecto, sería necesario chatarrizar la siguiente cantidad de camiones pesados.

Tabla 28. Camiones a chatarrizar para compensar el 150% de las emisiones de NO_x.

Contaminante	Emisión a compensar (ton/año)	Compensación por camión chatarrizado (ton/año)	Camiones chatarrizados	Costo económico (\$)
NO _x	18	2,7	8	160 millones

En la tabla 28 se observa que para compensar el 150% de las emisiones de NO_x del proyecto, se necesitaría chatarrizar 8 camiones pesados que compensarían 22,0472 ton/año de NO_x. Pero para chatarrizarlos, sería necesario comprar 8 camiones usados. Por lo tanto, si consideramos que el valor promedio por kilo de chatarra es de 100 pesos, la ganancia por la chatarrización de un camión de 34 toneladas sería de \$340.000, lo cual está muy por debajo del valor que tiene un camión usado que bordea los 20 millones de pesos.

4.6 Comparación del costo económico de los PCE convencionales con el propuesto.

Como se vio anteriormente, cada PCE permite compensar en un 150% las emisiones del proyecto inmobiliario, pero cada uno con un costo económico diferente, es decir la implementación de cada PCE analizado en este estudio, otorga el beneficio de compensar en un 150% las emisiones, pero el dinero que se debe invertir para llevarlo a cabo varía según el tipo de PCE, como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Costos de implementación de los PCE para MP₁₀ y NO_x.

PCE	Costo (MM\$)
Forestación (MP ₁₀)	5 a 40
Pavimentación (MP ₁₀)	9.400000
Chatarrización (NO _x)	160

Se puede observar que el costo de la forestación varía entre los 5 y 40 millones de pesos, debido a que este costo depende de si se realiza una mantención o creación de área verde y del tipo de área verde. También se destaca que los costos de implementación de la chatarrización para compensar el 150% de las emisiones de NO_x, producidas en el primer año de construcción del proyecto son muy elevados, siendo el PCE con mayor costo de implementación, lo que quiere decir que es más costoso compensar las emisiones de NO_x que las de MP₁₀. En esta tabla no se muestra el costo de implementación del PCE propuesto, ya que este no tiene costo de implementación, ya que solo requiere que la inmobiliaria contrate una empresa constructora que trabaje con camiones y maquinarias de último modelo que cumplan con la normativa expuesta anteriormente. Por lo tanto, el PCE menos costoso en términos económicos es el cambio de tecnología propuesto en este trabajo.

V. DISCUSIÓN

Luego de haber estimado las emisiones y comparados los resultados obtenidos a partir de la metodología propuesta y el de la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la RM", además de la descripción, evaluación y comparación del costo económico del PCE propuesto y de los PCE convencionales, es posible analizar las ventajas y desventajas de cada PCE como PCE. también es posible analizar

5.1 Análisis de los PCE convencionales para compensar emisiones de NO_x Y MP₁₀.

A continuación se realiza el análisis del costo y beneficio de los PCE convencionales y del PCE propuesto., y el análisis de la comparación de los PCE convencionales con el PCE propuesto. de acuerdo a los resultados obtenidos.

5.1.1 Análisis de la forestación como medida de compensación de emisiones de MP₁₀.

Este PCE tiene variados beneficios que no solo son favorecen al medio ambiente al actuar como sumidero de contaminantes, sino que también producen un efecto positivo a nivel social y económico, motivos por los cuales, tal como se dijo anteriormente, es la segunda medida de compensación más propuesta por los titulares de proyectos inmobiliarios que deben compensar emisiones.

Por otra parte, si se desea implementar un área verde como parte de un Plan de Compensación de emisiones, es necesario realizar una mantención de esta, que dure a lo menos 5 años, esto con el fin de tener certeza de que la medida se implementó de manera adecuada. Esta mantención genera un gasto económico adicional al gasto que implica la compra de las especies necesarias para compensar el 150% de las emisiones y la creación del área verde en si, por lo tanto el costo de implementación de este PCE aumenta en cinco veces, considerando 5 años de mantención, lo cual significaría una gran inversión de dinero y de tiempo para el titular del proyecto que

debe compensar emisiones. Sumado a esto, otra dificultad que se presenta para llevar a cabo esta medida, es que se debe considerar la disponibilidad de un terreno previo acuerdo con los respectivos municipios, en el cual se pueda llevar a cabo la creación del área verde.

De acuerdo al costo económico que implica la creación de áreas verdes, el cual fue estimado anteriormente, la inversión de dinero necesario está entre 10 y 40 millones de pesos, considerando el dinero necesario para la creación y mantención de un área verde, y dependiendo del tipo de área verde que se desee mantener. Por este motivo, en términos económicos sería más conveniente realizar la mantención de un área verde ya existente, lo cual le corresponde al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), al Ministerio de Agricultura y de las municipalidades, que en conjunto están trabajando desde el año 2010 en el programa de arborización que tiene como objetivo entregar 17 millones de árboles al año 2018 a lo largo de todo Chile.

Sin embargo, la gran demanda de tiempo y dinero que implica la creación y posterior mantención de áreas verdes, ha provocado que en su mayoría los PCE presentados al SEIA no se cumplan. Lo que a su vez impide que otros titulares puedan compensar solo con la medida de mantención de áreas verdes en la cual el titular del proyecto tiene la opción de compensar manteniendo áreas verdes que fueron utilizadas para compensar las emisiones de otros proyectos que ya cumplieron con la medida. Además, según el estudio realizado en Santiago por el proyecto FONDEF D00I 1078. del año 2004 (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, 2004), la tasa de remoción de los arboles es 9,70 g/m², y la equivalencia de esta tasa en hectáreas, indica que se requieren 10,30 hectáreas para capturar una tonelada de MP₁₀, lo cual no es consecuente con el factor que actualmente se utiliza y que fue propuesto por la autoridad en el Documento Plan Verde, el cual dice que 2,15 hectáreas de cobertura arbórea compensan una tonelada de MP₁₀ al año. Con este último punto, la forestación como medida de compensación pierde credibilidad, debido a que los criterios del Plan Verde no están basados en el más reciente estudio sobre la acción de los arboles como sumidero de contaminantes, esto quiere decir que las medidas que en él se señalan no están establecidas de acuerdo a datos reales y actuales, y como consecuencia no son implementadas de manera adecuada.

5.1.2 Análisis de la pavimentación como Plan de Compensación de emisiones de MP₁₀.

La pavimentación también presenta beneficios que no solo favorecen al medioambiente, sino que también favorecen a la comunidad, al otorgar condiciones de viaje más seguras y desplazamientos más eficientes, lo cual además disminuye el desgaste de los vehículos. Pero uno de los problemas más importantes de la pavimentación como medida de compensación de emisiones de MP₁₀, y que también se presenta en la forestación como medida de compensación, es que los titulares hacen uso del término de prorrateo para estimar la longitud de calle que deben pavimentar y/o para estimar la cantidad de hectáreas a reforestar, este término consiste en que el titular compensará sus emisiones de forma paulatina, es decir, contempla una distribución de la compensación a lo largo del tiempo, en función de una determinada cantidad de años, generando finalmente una disminución en la longitud de calle a pavimentar y/o una disminución en el número de hectáreas a reforestar. Además, es importante señalar que dicho criterio que usan los titulares no se encuentra establecido en el D.S. N° 66 (D.S N°66, 2009), si no que se establece en Plan Verde, por lo cual la Seremi del Medio Ambiente ha validado su uso para la compensación de emisiones.

Otros motivos o desventajas por las cuales la medida de pavimentación no es totalmente efectiva para la compensación de emisiones, es que en los PCE que proponen esta medida no hacen mención a la medida de mantenimiento del camino pavimentado, necesaria para que la compensación sea permanente en el tiempo, además implica gestiones con los municipios, los cuales tienen pocas calles disponibles para pavimentar, o las calles disponibles para pavimentar tienen muy poco tráfico, lo que significa grandes longitudes a pavimentar y mayores costos..

5.1.3 Análisis de la chatarrización como Plan de compensación de emisiones de NO_x.

La chatarrización es una buena opción para compensar emisiones, ya que corresponde al retiro de una fuente importante de NO_x, lo cual lo convierte en una medida bastante efectiva e importante en términos de la compensación de emisiones

atmosféricas de NO_x , debido a que la SEREMI de MA cuenta con reducidas alternativas para compensar NO_x . El principal problema que presenta en términos económicos para el titular del proyecto que debe compensar sus emisiones, es que cuesta comprar flotas de camiones disponibles para chatarrizar, motivo por el cual es una medida que prácticamente no se aplica. Además los camiones sufren una gran desvalorización como chatarras, considerando que un camión usado de 45 toneladas con un valor promedio de 20 millones de pesos, como chatarra tiene un valor aproximado de \$450.000 pesos. Sin embargo, si se cuenta con la flota de camiones para chatarrizar, es posible complementar esta medida con la propuesta en este Seminario de Título, la que propone la renovación de maquinarias y camiones utilizados para las actividades llevadas a cabo en la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario.

5.2 Análisis del PCE propuesto para compensar emisiones de NO_x Y MP_{10} .

A continuación se muestra un análisis de cada una de las tres medidas que comprenden al PCE propuesto, el cual permite compensar las emisiones de NO_x y MP_{10} .

5.2.1 Actualización de los factores de emisión para camiones pesados.

Los resultados de las emisiones calculadas con la guía son mayores, ya que esta considera los factores de emisión de los vehículos antiguos (EURO II y EURO III) que poseen motores que realizan una combustión incompleta y por ende emiten una mayor cantidad de gases, mientras que las emisiones calculadas con los factores de emisión actualizados (EURO IV), son menores ya que considera vehículos que presentan motores con una tecnología más avanzada y que emiten una menor cantidad de gases producto de una combustión más completa. Además, estos factores de emisión se acercan más a la realidad en relación a las emisiones que produce, mientras que los camiones EURO II y EURO III están mas obsoletos.

El principal requisito para utilizar estos factores de emisión actualizados propuestos por la EPA (AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 2009) y la normativa



más exigente que es establecida en el artículo N° 12 del D.S N° 66 (D.S N° 66, 2009), es exigir a la empresa prestadora de servicios de construcción, utilice camiones con tecnología más avanzada y que estén inscritos en el registro civil a partir del 1 de enero del año 2012 que cumplen con la normativa propuesta en dicho artículo.

5.2.2 Renovación de maquinarias.

Al comparar los resultados de la estimación de emisiones considerando los parámetros de la retroexcavadora establecida en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios en la RM", se pudo observar que al mejorar la capacidad de palada de la retroexcavadora utilizada en la actividad de excavación de la etapa de construcción del proyecto, se pueden disminuir considerablemente las emisiones de MP₁₀, hasta el punto en el cual ya no es necesario compensar las emisiones, como lo sería en este caso en que se obtuvo una emisión de 1,43 toneladas de MP₁₀ por año que cumple con la normativa del D.S N° 66 (D.S N° 66, 2009), la que permite una emisión máxima de 2,5 toneladas de MP₁₀ por año.

Además, los parámetros considerados en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios en la RM" para las retroexcavadoras no están actualizados, debido a que en la práctica ya no se utilizan retroexcavadoras con una capacidad de palada de 1 m³ y con un rendimiento de 170 KW/hr.

5.2.3 Actualización de los factores de emisión de maquinarias.

A partir de la estimación de emisiones de MP₁₀ y NO_x para la actividad de combustión de los motores de las maquinarias con la excavadora propuesta en la "Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios" y los obtenidos con la excavadora Komat'su PC 300-8 propuesta, se puede realizar una comparación entre ambos, y analizar el cumplimiento de la normativa.

A partir de la actualización de los factores de emisión para la retroexcavadora propuesta, las emisiones de MP₁₀ tuvieron una disminución de 0,87 toneladas,

mientras que las emisiones de NO_x disminuyeron en 9,34 toneladas. Esta disminución en las emisiones de ambos contaminantes se debe a dos motivos:

- i) Con el cambio del tipo de excavadora utilizada, se obtuvo un aumento en el rendimiento de $30 \text{ m}^2/\text{h}$ a $60 \text{ m}^2/\text{h}$, implica que la excavadora se va a demorar la mitad del tiempo en llevar a cabo la excavación, si se ve desde el punto de vista del funcionamiento del motor, entonces se podría decir que el motor va a realizar combustión la mitad del tiempo y por consiguiente emitirá la mitad de las emisiones de MP_{10} , considerando una emisión constante a lo largo del tiempo.

El cambio en la potencia de 170 kW para el tipo de excavadora considerada en la guía, a 184 kW para la excavadora propuesta, genera un aumento en la emisión de NO_x , ya que para que el motor aumente su potencia requiere realizar más trabajo y por ende más combustible, lo que significa que se genera una mayor cantidad de residuos producto de la combustión, sin embargo el aumento en la emisión de NO_x fue despreciable en comparación a la disminución producto del aumento en el rendimiento de la excavadora, ya que la potencia de la excavadora solo aumento 14 kW. En otras palabras, si bien aumenta la potencia, el factor de emisión de NO_x es menor, por lo tanto de todas formas es una buena medida.

Cabe destacar que las emisiones de MP_{10} también disminuyeron de $9,6 \times 10^{-1}$ a $8,8 \times 10^{-2}$ toneladas por año, es decir disminuyeron un poco menos de 1 tonelada por año, lo cual es bastante, considerando que las emisiones totales de MP_{10} en la etapa de construcción del proyecto fueron de 2,74 toneladas por año, esta disminución se debió a la optimización del tiempo de excavación gracias al aumento del rendimiento, lo cual permitió que el motor de la excavadora produjera menos MP_{10} de combustión, al igual que lo ocurrido con el NO_x .

- ii) La actualización de la normativa de emisión de NO_x y MP_{10} para las maquinarias fue establecida en el artículo 12 del D.S N° 66 de 2010 (PPDA), la aplicación de esta normativa implica que para llevar a cabo las actividades de

la etapa de construcción del proyecto, no se podrán utilizar maquinarias que estén inscritas antes del 1 de enero del 2012, ya que las maquinarias inscritas después de esa fecha cuentan con las condiciones técnicas en sus motores, que les permiten cumplir con una normativa de emisión más exigente y por ende emitir una menor cantidad de contaminantes.

5.3 Comparación del costo y beneficio de los PCE convencionales con el propuesto.

Al comparar los PCE convencionales con el PCE propuesto se tiene que es más costoso compensar NO_x que MP_{10} , siendo la chatarrización el PCE que presenta un mayor costo de implementación, esto se debe principalmente a que es difícil encontrar en venta flotas de camiones disponibles para chatarrizar, y además no existen empresas en las cuales se dediquen a la chatarrización.

La única opción es vender a las empresas que compran la chatarra para reutilizar el acero que esta presenta, pero lamentablemente en esas empresas el valor de una tonelada de chatarra es muy bajo, lo que hace que se desvaloricen demasiado los camiones.

Además, el PCE propuesto no tiene costo de implementación si se ve desde el punto de vista de que al contratista se le puede exigir en las bases de licitación del contrato, el uso de maquinarias con características específicas, por lo tanto es parte de la inversión que se necesita para construir el proyecto inmobiliario.

VI. RECOMENDACIONES

6.1 Implementación de los PCE

En general, los PCE son un instrumento de gestión ambiental bastante efectivo para compensar un efecto ambiental negativo producido por un proyecto inmobiliario. El principal problema que presentan tiene relación con su implementación, ya que los titulares de los proyectos que deben compensar sus emisiones, una vez que presentan el PCE no cumplen con las medidas necesarias para hacer efectivo el Plan propuesto, como por ejemplo no cumplen con los plazos que les son otorgados para llevar a cabo el plan de compensación, no presentan evidencias de la implementación de sus planes, etc. Por lo tanto, para que los PCE se hagan efectivos es necesario:

- Una política más estricta impuesta por la autoridad sobre los titulares de los proyectos, que exija al titular presentar evidencias de la implementación del PCE presentado al SEA y dar cumplimiento a los plazos estipulados.
- Aumento de fiscalización y seguimiento del cumplimiento de los instrumentos de carácter ambiental realizado por la SMA, esto implica un aumento en el personal encargado de llevar a cabo la fiscalización y seguimiento de los distintos instrumentos ambientales, y la entrega de informes semestrales en los cuales se indique en qué estado de cumplimiento se encuentra cada PCE presentado en el SEA y aprobado por la SEREMI MA.
- Sanciones cuando los informes semestrales muestren el incumplimiento de la implementación de los PCE, estas sanciones podrían variar según el nivel de incumplimiento, por ejemplo el incumplimiento de los plazos de implementación de un PCE debiera ser castigado con multas de dinero, mientras que el incumplimiento de la implementación del PCE debería ser causa de una sanción mayor que implique la detención de las obras de construcción del proyecto.

Estos puntos expuestos tienen como finalidad que los titulares materialicen los PCE y lo hagan dentro del plazo permitido. Por último, cabe destacar que el organismo responsable de velar por el cumplimiento de los instrumentos ambientales establecidos por la ley, es la superintendencia del medio ambiente, por ende ellos deben mejorar la coordinación, organización y ejecución de las medidas de seguimiento y fiscalización de los Planes de Compensación de Emisiones Atmosféricas.

Además, es importante definir claramente cuáles son los criterios bajo los cuales se puede desarrollar un PCE, esto con el fin de evitar que ocurran situaciones en las cuales los titulares usen criterios que impliquen la disminución de la cantidad de contaminante a compensar por año, como por ejemplo el caso del criterio de prorrateo. Basándose en este criterio, los titulares deciden aumentar el plazo de tiempo en el cual van a llevar a cabo la compensación de sus emisiones, disminuyendo las toneladas por año que deben compensar por año, esto implica un gran problema en términos de la calidad del aire, ya que en el fondo los titulares compensan el 150% de sus emisiones anuales en más de dos años, es decir por año están compensando menos de un 100% de sus emisiones, y si todos los titulares de los proyectos que deben compensar usan el mismo criterio, se produciría una contaminación acumulativa del aire, que aumentaría cada año. Por lo tanto, lo más recomendable es que el uso de este criterio en particular, sea prohibido por la autoridad, y sancionado para aquellos titulares que sigan haciendo uso de él.

6.2 PCE alternativos

Proponer y fomentar el uso de nuevas alternativas de Planes de Compensación de Emisiones, esto puede ayudar a que los titulares de los proyectos cumplan con la implementación de los PCE. Al existir pocas medidas de compensación, los obliga a escoger entre la pavimentación, forestación y chatarrización, las que requieren de tiempo y dedicación para llevarlas a cabo. Por lo tanto, tomando en cuenta el hecho de que existen otras medidas, se debería realizar un informe completo que quedara a disposición de los titulares, en el cual se definan y describan distintas medidas para compensar las emisiones de MP_{10} y NO_x .

6.3 Actualización del plan verde y de la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios de la RM”.

En la “Guía para la estimación de emisiones atmosféricas de proyectos inmobiliarios” desarrollada por CONAMA RM en 2001 y actualizada por SEREMI Medio Ambiente RM en Enero 2012, solo son considerados los factores de emisión para camiones Diesel que cumplen con la normativa EURO I, II y III, actualmente en Chile ya están a la venta camiones capacitados con las condiciones técnicas necesarias para cumplir con la normativa de emisión EURO IV, que implica una menor emisión de contaminantes atmosféricos producto de la combustión de los motores de estos camiones. Lo mismo ocurre para las maquinarias, ya que según lo establecido en el artículo 12 del D.S N° 66, las maquinarias inscritas a partir del 1 de enero del año 2012, deben cumplir con la normativa establecida en dicho artículo, la cual es más exigente para estas maquinarias que cuentan con la tecnología más avanzada para generar la menor cantidad de MP_{10} y NO_x , durante la combustión de los motores. Además una actualización de la Guía, podría promover el uso de estos camiones y maquinarias mas amigables con el medio ambiente, ya que se darían a conocer sus beneficios, llamando la atención de los titulares de proyectos.

Es necesario escribir una nueva versión del documento conocido como Plan Verde, que incorpore los cambios que ha tenido la institucionalidad Medio Ambiental y los avances en el estudio de los arboles como sumidero de contaminantes atmosféricos. En particular el factor de compensación de los arboles que en el Plan Verde corresponde a 2,15 hectáreas de árboles para compensar 1 tonelada de MP_{10} , mientras que en el último informe realizado por la Universidad d Chile se informa que es necesario forestar 10,3 hectáreas de árboles para capturar 1 tonelada de MP_{10} . En otras palabras el Plan Verde debe ser actualizado para que los titulares de los proyectos tengan una mejor orientación en cuanto a la forma en que se debe llevar a cabo una correcta implementación de la forestación como Plan de compensación de emisiones de contaminantes atmosféricos.

6.4 Medidas de prevención y mitigación

Tal como lo dicen los libros sobre gestión ambiental, para desarrollar un proyecto, primero se deben considerar planes preventivos y luego mitigadores, pero solo en los casos en que ya no es posible impedir que la realización de un proyecto o actividad implique la generación de efectos negativos sobre el medio ambiente, se debe acudir a la implementación de los Planes de Compensación de Emisiones.

Muchas veces estas consideraciones no son tomadas en cuenta por los titulares, ya que al momento de diseñar el proyecto inmobiliario, no buscan opciones para prevenir que en la etapa de construcción del proyecto se generen efectos negativos sobre el medio ambiente y tampoco buscan planes que permitan mitigar dichos efectos, por esto es de gran importancia incentivar el uso de medidas que ayuden a prevenir o mitigar los efectos negativos, realizando charlas, auditorías ambientales, o a través de un informe en el que se definan y describan las medidas preventivas y mitigadoras. .

6.5 Uso de tecnologías limpias

Se conoce como tecnologías limpias a aquellas tecnologías que durante su funcionamiento contaminan menos, reciclan o reutilizan sus desechos, y/o dan prioridad al uso de recursos naturales renovables.

La renovación de maquinarias y camiones, implica el uso de tecnologías más amigables con el medio ambiente, esto debido a que las grandes empresas que fabrican camiones o maquinarias están tomando conciencia con el medio ambiente, promoviendo la venta de camiones que cumplen con las características técnicas que les permiten cumplir con la normativa EURO IV, V y VI. Para ello están utilizando las mejores y más nuevas tecnologías que les permiten crear motores de camiones que realicen una combustión más completa, o maquinarias que no requieran de una mayor cantidad de combustible para mejorar su potencia y rendimiento, es decir, están creando camiones y maquinarias más limpias, que durante su funcionamiento generan una menor emisión de contaminantes atmosféricos.

En el caso particular de los proyectos inmobiliarios, si bien el uso de tecnologías limpias implica un gran costo económico, ya que requiere de la compra de maquinarias o camiones mas nuevos, significa una inversión a largo plazo que trae beneficios a lo largo del tiempo. En algunos casos se puede lograr que la inmobiliaria a cargo de proyectos inmobiliarios no necesite compensar las emisiones, debido a la disminución de emisiones producida al utilizar mejores maquinarias y camiones durante la etapa de construcción de un proyecto inmobiliario.

VII. CONCLUSIONES

- El enfoque del PCE propuesto en las actividades de excavación y combustión de motores, en las cuales se genera una mayor emisión de MP_{10} y NO_x , permitió cumplir con la normativa vigente establecida en el D.S N° 66/2009 para las emisiones de MP_{10} y NO_x producidas en la etapa de construcción del proyecto.
- El PCE propuesto es efectivo ya que al aplicarlo, las emisiones de los contaminantes atmosféricos MP_{10} y NO_x producidas durante la etapa de construcción del proyecto disminuyen en un 45% y en un 62,5% respectivamente.
- La forestación presenta problemas de implementación, como el incumplimiento de los plazos de ejecución de la medida y la disminución de la cantidad de contaminante a compensar por año producto del uso del criterio de prorrateo. Por lo que es necesario un documento completo y actualizado en el cual se definan las políticas de gestión a considerar para llevar a cabo la ejecución de este instrumento ambiental.
- La pavimentación como PCE posee problemas de implementación debido a la baja disponibilidad de calles a pavimentar con alto tráfico de vehículos que entregan las municipalidades, al incumplimiento de los plazos de entrega y ejecución de los PCE. Además el criterio de prorrateo permite al titular pavimentar una menor longitud de calle por año, sin compensar efectivamente el 150% de las emisiones que superan la norma de emisión.
- La baja implementación de la chatarrización como PCE para NO_x se debe al alto costo económico que implica chatarrizar camiones, y a la carencia de empresas que compren chatarra a buen precio para reutilizar el acero.
- Con la implementación del PCE propuesto, el titular del proyecto no debe compensar las emisiones de NO_x y MP_{10} , ya que estas cumplen con la normativa exigida en el artículo 98 del D.S N° 66/2009. Por lo tanto el PCE propuesto no tiene costo de implementación, debido a que las medidas de compensación están

contempladas en los gastos que conlleva el contrato de una empresa constructora del proyecto inmobiliario.

- El PCE propuesto presenta el menor costo económico para su implementación, ya que no solo permite compensar en un 150% las emisiones de MP_{10} y NO_x , sino que también permite que el titular del proyecto logre cumplir con la normativa vigente, resultando innecesaria la creación de un PCE.
- Las medidas de compensación deben estar enfocadas en prevenir que se superen las normas de emisión, no en permitir que los proyectos superen la normativa de emisión sólo con la condición de que presenten un PCE que compense de alguna forma la contaminación atmosférica producida y que en la práctica muchas veces demoran en ejecutarlo o simplemente no es concretado, es decir que se evite contaminar, creando la gestión de medidas ex antes y no a posteriori.
- Los factores de emisión establecidos por la EPA, deben ser incorporados en la "Guía para la estimación de emisiones de proyectos inmobiliarios de la RM", ya que a medida que salen al mercado vehículos de última generación, los nuevos motores con tienen un mejor sistema de combustión, que les permite producir una menor emisión de contaminantes atmosféricos, y por ende cumplir con una legislación más exigente.

VIII. REFERENCIAS

- AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 2009, revisado en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>.
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, *Nuestro Futuro Común*, Comisión Brundtland, 1987.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, *Manual Plan Verde*, 2005.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, *Plan Verde: Instructivo Construcción de Áreas Verdes*, 2005.
- Camiones pesados, revisado en: http://www.camionesjac.cl/modelos/ficha_cruiser-4182.php.
- D.S 66. MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. 2009. Decreto Supremo N° 66. Revisa, reformula y actualiza plan de prevención y descontaminación atmosférica para la región metropolitana (PPDA), 3 de junio de 2009.
- D.S 4. Ministerio de Salud. 1992. Decreto Supremo N° 4. Establece norma de emisión de material particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales, 2 de marzo de 1992.
- D.S 58. Ministerio Secretaría General de la Presidencia De la República. Decreto Supremo N° 58. Reformula y actualiza plan de prevención y descontaminación atmosférica para la región metropolitana (PPDA), 29 de enero del 2004.
- D.S 131. Ministerio secretaria general de la presidencia. Decreto Supremo N° 131. Declara zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas en suspensión y monóxido de carbono, y zona latente por dióxido de

nitrógeno, al área que indica; Comisión Nacional del Medio Ambiente, 12 de junio de 1996.

- Economía de Chile, revisado en: <http://www.bancomundial.org/es/country/chile/overview>.
- Factores de emisión de la EPA, revisado en: <http://www.epa.gov/otaq/ap42.htm>
- Guillermo Espinoza. *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Chile, Banco Interamericano de Desarrollo y Centro de Estudios para el Desarrollo, 2007.
- Gabriela Lucía Luna Wolter, *Evaluación de parámetros fisiológicos y de crecimiento en plantas de Quillaja saponaria Mol. Bajo condiciones de déficit hídrico*. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura, 2006.
- Informe *Seguimiento Plan de Prevención y de Descontaminación para la Región Metropolitana*, Ministerio del Medio Ambiente, 2012.
- Informe *Evaluación del Instrumento Compensación de Emisiones Región Metropolitana*, División de Gestión e innovación, Superintendencia del Medio Ambiente, 2014.
- Informe *Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana*, sección asuntos atmosféricos, Seremi Medio Ambiente Región Metropolitana, 2012.
- Jorge Araya, Cristian Bustos. *Compensación de Emisiones Atmosféricas en la Región Metropolitana – aún queda mucho trabajo pendiente*. Better Consultores, diciembre 2009.

- Ley 19300. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. Ley sobre bases generales del medio ambiente, 9 de marzo de 1994. 20p.
- Morales, R. (2006). *Contaminación atmosférica urbana: Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago*. Santiago: Editorial Universitaria.
- Manual del Proveedor de Chatarra, Acero reciclado, construyendo un futuro sustentable, GERDAU AZA, 3ra edición, 2008.
- Maquinarias de construcción, revisado en: <http://www.komatsu.cl>.
- Normativa europea, revisado en: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/;ELX_SESSIONID=8IGLT72cRyQbRy0YkGYw8DzyjbQV2ZsKpwpjQnVvBPD rQl4rD9WDI-806449009?uri=CELEX:32009R0595
- Programa de Arborización para Chile, revisado en: <http://cfpub.epa.gov/webfire/index.cfm?action=fire.SearchEmissionFactors>
- Revista Transporte y Turismo, revisada en: <http://tyt.com.mx/carga/presentara-sct-propuesta-para-fortalecer-programa-de-chatarrizacion/>.
- U. S. Environmental Protection Agency. Environmental Protection Agency. Pollution Prevention Directive. Mayo 13, 1990.

IX. ANEXOS

El crecimiento económico en Chile y sus consecuencias en la calidad del aire

El crecimiento económico de Chile durante los últimos 20 años registró una tasa promedio de crecimiento anual del 3,5%, con un aumento en el ingreso per cápita que casi se duplicó, esto produjo una mejora en la calidad de vida de las personas y un aumento del número de habitantes, en la Región Metropolitana esto se tradujo en un aumento en el flujo vehicular en Santiago, ya sea de transporte público o privado, un aumento en la infraestructura (por la construcción de más edificios, hospitales, carreteras, etc.), además significó un crecimiento de la actividad industrial y por consiguiente un aumento de la mano de obra. Visto desde el punto de vista de la calidad del aire, este crecimiento económico provocó un importante aumento en la emisión de contaminantes a la atmósfera. En resumen, el crecimiento económico junto con las características meteorológicas y geográficas de algunas regiones, trajo como consecuencia el incremento de la contaminación atmosférica. Debido a esto, el tema sobre la calidad del aire ha tomado cada vez más importancia, tanto en la sociedad como en las empresas públicas y privadas, lo cual en gran parte fue gracias a la promulgación de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente de 1994, que ha dado como resultado que la sociedad tenga una mayor conciencia ambiental al momento de llevar a cabo distintas actividades y proyectos, en esta ley dentro de variados temas se definen los términos con respecto a la contaminación atmosférica como por ejemplo; contaminación y contaminante, zona latente y zona saturada por contaminantes atmosféricos en las distintas regiones de Chile, también se dictaron normas de emisión y de calidad ambiental, etc. Sin embargo nada de esto ha sido suficiente para abatir los importantes impactos ambientales negativos que generan las actividades realizadas por el ser humano.

Las regiones de Chile que poseen una mayor contaminación atmosférica son la Región Metropolitana, la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins en la cual el 28 de mayo del año 2012 fue aprobado el plan de descontaminación atmosférica y la Región de la Araucanía, cabe destacar que estas tres regiones han sido declaradas zona saturada por material particulado, más recientemente la Región de la Araucanía, en la cual las

comunas de Temuco y Padre Las Casas fueron declaradas zona saturada por material particulado fino respirable $MP_{2,5}$, el día de 25 de junio de 2012.

Contaminación atmosférica en la RM.

En la RM a finales de los años ochenta se realizó el primer inventario de emisiones atmosféricas, pero solo después de la promulgación de la Ley N° 19.300 y con el aumento de episodios críticos de concentración de contaminantes atmosféricos, en los que se superaba el máximo establecido en las normas de calidad ambiental, se comenzó a hablar de la importante contaminación atmosférica que hasta el día de hoy sufre la RM, la cual es producida por gases y partículas, tales como el ozono, el CO, las partículas totales en suspensión, el material particulado MP_{10} , los NO_x y los SO_x . Estos contaminantes tienen un efecto dañino en la salud de las personas ya que atacan principalmente al sistema respiratorio produciendo enfermedades respiratorias e irritaciones, siendo mayor este impacto para el sector económico más vulnerable, el cual no posee los recursos económicos para acceder a una salud privada viéndose obligados a acudir a centros públicos. Los episodios de contaminación, se agravan cada año durante el periodo de otoño-invierno debido a que los centros públicos son colapsados por la alta demanda que se debe al aumento de enfermedades respiratorias que sufren en mayor proporción los recién nacidos y ancianos, aumento que es ocasionado por la reiteración de episodios críticos de contaminación atmosférica.

El PPDA en la RM.

En el año 1996 la RM fue declarada zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas totales en suspensión y monóxido de carbono, y además zona latente por dióxido de nitrógeno con la promulgación del D.S. N°131. Luego de esto se creó el PPDA para la RM, establecido por el D.S N° 16/1998.

Figura N°1: Vista panorámica de la RM un día de invierno con alerta ambiental



Fuente: <http://www.dw.de/derechos-humanos-en-chile-a%C3%BAAn-queda-mucho-por-hacer/a-4246465>

A continuación se muestra un resumen de las actualizaciones del PPDA en términos de la normativa ambiental

Tabla N°1: Actualizaciones del PPDA desde su aprobación en el año 1998

	D.S. N° 16/1998	D.S. N° 58/2004	D.S. N° 66/2009
Contaminante	Emisión Máxima (ton/año)	Emisión Máxima (ton/año)	Emisión Máxima (ton/año)
MP ₁₀	No definido	10	2,5
NO _x	No definido	50	8
SO _x	No definido	150	50
CO	No definido	100	Solo se deben informar las emisiones
COV	No definido	100	Solo se deben informar las emisiones
Porcentaje de compensación de emisiones	No definido	150%	150%

Fuente: Evaluación del instrumento compensación de emisiones RM, SMA marzo 2014.

Características geográficas de la RM.

La característica geográfica más importante de la RM que favorece el aumento de la contaminación atmosférica es el cordón montañoso que rodea a la cuenca, el cual impide la circulación horizontal del aire, mientras que las características meteorológicas de Chile central están marcadas por la estacionalidad que determina la circulación atmosférica, como lo son el anticiclón subtropical del Pacífico Suroriental, y el flujo del oeste en la tropósfera media y alta, que produce el paso de sistemas frontales que generan la mayor parte de las precipitaciones de la zona. En el periodo de otoño-invierno se observa un empeoramiento en las condiciones para el transporte de contaminantes, debido a un incremento de la estabilidad atmosférica en el valle interior producido por la ocurrencia de bajas temperaturas e intensificaciones de los fenómenos de inversiones térmicas que producen una disminución en la altura de la capa de mezcla, y por ende dificultan la ventilación atmosférica generando las condiciones ideales para que se produzcan episodios de alerta, pre-emergencia y emergencia ambiental.

Flujo vehicular y peso promedio de los vehículos que transitan por la calle Los Pinos

Tabla N° 2: Flujo total vehicular anual y peso ponderado en calle Los Pinos

Parámetros	Autos	Taxis Colectivos	Buses	Camiones 2Ejes	Camiones + 2 Ejes	Total
Flujo (Veh/año)	477.980	12.388	2.944	164.532	82.832	740.676
% Flujo total	64,5	1,7	0,4	22,2	11,2	100,0
Peso del vehículo (ton)	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	

Peso ponderado (ton)	0,77	0,02	0,05	3,33	1,68	5,852
----------------------	------	------	------	------	------	-------

Fuente: INGEA consultores

El flujo vehicular (veh/año) se determina, según mediciones de octubre 2012 realizadas por Sistemas Sustentables e INGEA Ltda presentadas en Anexo 2 de PCE de junio de 2013. El peso del vehículo se obtiene de “Capítulo II Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana, DICTUC, Agosto del 2004”, con lo cual se determina el peso ponderado por vehículo para esta calle.

Formación de NO_x y MP₁₀ en la atmosfera

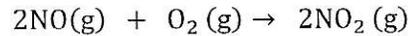
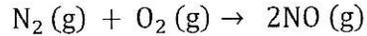
NO_x

Los óxidos de nitrógeno son formados durante los procesos de combustión de los combustibles y en procesos industriales que generen o utilicen ácido nítrico. El NO es un gas inodoro e insoluble en agua, mientras que el NO₂ es moderadamente soluble en líquidos acuosos y tiene un color rojizo-marrón claro, este contribuye a la neblina que a menudo es asociada con las condiciones de smog fotoquímico en áreas urbanas. Estos compuestos además de presentar un impacto ambiental negativo en la atmosfera al ser los precursores del ozono troposférico, producen efectos adversos en el tracto respiratorio de la población que se expone a altas concentraciones de estos compuestos.

La formación de NO_x puede ocurrir de dos formas:

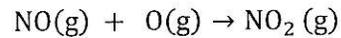
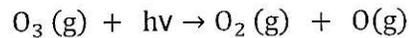
- 1) Por la combustión de combustibles, que a su vez puede ocurrir de dos maneras:

- Oxidación térmica de alta temperatura: implica la oxidación de nitrógeno atmosférico a óxido nítrico y dióxido de nitrógeno a temperaturas por sobre los 1400°C y en altas concentraciones de oxígeno.



- Oxidación de compuestos de nitrógeno presentes en combustibles fósiles

2) Por reacciones fotoquímicas en la atmósfera



MP₁₀

El material particulado atmosférico, es una compleja mezcla entre partículas sólidas muy pequeñas y gotitas líquidas presentes en el aire, cuyo diámetro aerodinámico es inferior a 100 µm y puede ser de origen natural o antropogénico (Morales, 2006). El material particulado respirable es aquel cuyo diámetro aerodinámico es igual o inferior a 10 µm. Se debe destacar que el material particulado respirable de origen antropogénico, se puede incorporar a la atmósfera de dos maneras:

- 1) Por combustión se incorpora principalmente la fracción fina del material particulado, es decir MP_{2.5}.
- 2) Por resuspensión a la atmósfera: se incorpora principalmente la fracción gruesa del material particulado (MP₁₀).

Figura N°2: Material particulado resuspendido por maquinarias



Fuente:

<http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201302141210342>

Estas partículas se pueden clasificar de manera general en tres grupos según sus características fisicoquímicas, como se muestra a continuación:

a) Por tamaño

Dentro del material particulado se puede encontrar la fracción gruesa y la fracción fina de este, la fracción gruesa es aquella cuyo diámetro aerodinámico está entre 2,5 y 10 μm , mientras que la fracción fina es aquella cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 μm . La fracción fina es la que tiene un mayor impacto negativo en los seres vivos ya que tienen un mayor grado de penetración y permanencia en el aparato respiratorio, y puede contener en su composición la presencia de metales dependiendo de la fuente emisora.

b) Por su origen.

- Material particulado primario: es aquel que es emitido directamente a la atmosfera

- Material particulado secundario: generado por reacciones químicas en la atmosfera, este a su vez está compuesto por una fracción orgánica y una fracción inorgánica

c) Por la composición química

Según análisis realizados a los filtros de material particulado respirable, encontrados en estaciones de monitoreo como las Condes, Pudahuel y Parque O'Higgins, la fracción fina y gruesa del material particulado, además de tener distinto tamaño tienen distinta composición química, como se muestra a continuación:

Fracción gruesa

Tabla N° 3: Composición química de la fracción gruesa del MP₁₀

Compuesto	Porcentaje (%)
Carbón orgánico	18
Carbón elemental	5
Nitrato	8
Sulfato	4
Amonio	7
Cloro	3
Polvo antropogénico	6
Polvo natural	13

Polvo background*	30
otros	6

*línea base de material particulado en una región.

Fuente: D.S N° 66 PPDA

Fracción fina

Tabla N° 4: Composición química de la fracción fina del MP₁₀

Compuesto	Porcentaje (%)
Carbón orgánico	39
Carbón elemental	11
Nitrato	17
Sulfato	8
Amonio	17
Cloruro	4
Polvo natural	3
Otros	1
Total	100

Fuente: D.S N° 66 PPDA

Normas de calidad de aire.

La normativa de calidad de aire que se debe cumplir para contaminantes atmosféricos, y la concentración alcanzada para cada contaminante en la RM el año 2011, se muestra a continuación:

Tabla N° 5. Normas de calidad de aire para contaminantes atmosféricos y concentración alcanzada por contaminante el año 2011.

Contaminante	Norma actual	Valor año 2011
MP ₁₀ Anual	50 µg/m ³	67 µg/m ³
MP ₁₀ 24 hr P98	150 µg/m ³	192 µg/m ³
NO ₂ Anual	100 µg/m ³	41 µg/m ³
NO ₂ 1 hr P99	400 µg/m ³	232 µg/m ³
Ozono 8 hrs P99	120 µg/m ³	153 µg/m ³
CO 1 hr P99	30 µg/m ³	13 µg/m ³
CO 8 hrs P99	10 µg/m ³	9 µg/m ³
SO ₂ Anual	80 µg/m ³	5 µg/m ³
SO ₂ 24 hrs P99	250 µg/m ³	22 µg/m ³

Fuente: Informe seguimiento plan de prevención y descontaminación atmosférica para la RM año 2012.

De acuerdo a esta normativa, en el último informe de seguimiento del PPDA, el cual incluye un avance hasta septiembre del 2012 se informa que la RM se encuentra en estado de zona saturada por MP₁₀ en sus normas de 24 horas y anual, en estado de saturación por ozono en su norma de 8 horas, y para el CO se encuentra en estado de latencia en su norma de 8 horas. Además se informa que se encuentra en cumplimiento para la norma horaria de CO, y para las normas anual y horaria de NO₂ y SO₂.

Determinación de los factores de emisión

El factor de emisión de resuspensión de MP₁₀ para caminos pavimentados y no pavimentados se calcula con la formula de la "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana".

Factor de emisión para camino pavimentado

$$fe = 0,62 \times (sL)^{0,91} \times W^{1,02}$$

Donde:

sL: Carga de finos de la Superficie; según flujo

W: Peso Promedio de la Flota que Circula por la calle

Este factor se debe corregir por el factor de corrección de días de lluvia de 0,91.

Según la guía, la carga de finos (sL) corresponde a los valores determinados por el estudio de Silt realizado por CENMA en el 2010, para este caso como el flujo vehicular está entre 500 y 10.000 vehículos día, la carga de finos tiene un valor de 0,7.

Con esto se obtiene que el factor de emisión es:

Tabla N° 6: Parámetros para la estimación de emisiones por circulación de vehículos en caminos pavimentados

Parámetros	Unidad	valor
(sL)Carga finos de la superficie para flujo entre 500-10.000 (veh/día)	g/m ²	0,7
Peso promedio total W	ton	5,852
Factor de corrección días de lluvia	-	0,91
Factor de emisión MP ₁₀	g/km	2,47

Fuente: INGEA Consultores

Factor de emisión para camino no pavimentado

La siguiente formula permite calcular el MP₁₀ resuspendido por la circulación de vehículos en caminos no pavimentados

$$fe = 281,9 \times 1,5 \times \left(\frac{s}{12}\right)^{0,9} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{0,45}$$

Donde:

s: % de finos del Suelo; 8,5 %

W: Peso Promedio de la Flota que Circula por la vía.

Tabla N° 7: Parámetros y Factor de Emisión Camino No Pavimentado

Parámetros	Unidad	valor
s: Carga finos de la superficie	g/m ²	8,5
Peso promedio total W	ton	5,852
Factor de corrección días de lluvia	-	0,91
Factor de emisión MP ₁₀	g/km	381,08

Fuente: elaboración propia