

UCH-FC
Q-Ambiental
A 473
C. 1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

***“EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL PARA LA OPERACIÓN
DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA DE CICLO COMBINADO
EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O’HIGGINS.”***

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

Química Ambiental

Francisca Constanza Álvarez Vergara

Director de Seminario de Título: Gustavo Salinas.

Octubre 2016
Santiago – Chile

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata:

Francisca Constanza Álvarez Vergara

“EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL PARA LA OPERACIÓN DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA DE CICLO COMBINADO EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O’HIGGINS.”

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

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Gustavo Salinas.

Director Seminario de Título

Handwritten signature of Gustavo Salinas in black ink, positioned above a horizontal line.

Ricardo Serrano.

Presidente

Handwritten signature of Ricardo Serrano in blue ink, positioned above a horizontal line.

Richard Toro.

Corrector

Handwritten signature of Richard Toro in blue ink, positioned above a horizontal line.

Santiago de Chile, Octubre de 2016

Biografía



Soy Francisca Constanza Álvarez Vergara, salí del colegio Alicante del Rosal en el año 2009 e ingrese a la carrera de Química Ambiental en el año 2010.

Realice mi Unidad de Investigación en el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Chile (2014) y realice mi Seminario de Título en Evaluación Ambiental Integral Consultores Limitada (EIA consultores, 2015).

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, que sé que sus vidas han sido difíciles, pero has sorteado cada uno de los obstáculos que se les ha puesto. Conmigo se cierra la etapa y de esta manera pueden ver que los hijos que tienen son solo el reflejo de lo que ustedes son.

LOS AMO!!! SON LOS MEJORES!!!

Agradecimiento

Quisiera nombrar a tanta gente en este momento, pero quiero agradecerle en especial a mi familia que me han soportado todos estos años con mi mal genio y mis cambios de humor, el aguantarme los días que no dormía y ayudarme en pequeños detalles que al final se volvían enormes en mí.

A mis padres, Verónica y Oscar, que me han apoyado en cada una de mis locuras a pesar que no les parezca siempre han confiado en mí se los agradeceré eternamente.

Quiero agradecerles en especial a mis hermanos que desde chicos han cuidado de mí, me han enseñado muchas cosas, y por mas peleas que tengamos siempre están conmigo y dándome fuerzas para no caer, (los quiero).

También quiero agradecerle a mi abuela “la mami” por ser una parte fundamental de esta familia por cuidarnos cuando mis papas trabajaban y por todo.

A mis tíos, tías mis primos y primas que siempre han estado apoyándome y aportado pequeños granitos de arenas para ayudarnos.

A mis amigas del colegio Elly, Nía y Maca que con sus consejos su apoyo y sus retos, han hecho que las cosas se vean de forma distinta.

Y a mis amigas de la Universidad Clau, Erica, Cami Milaray, Cami Jara y Danitza, que a pesar de que nos aferramos al final de la carrera conocí grandes personas con mucha fuerza y grandes corazones.

GRACIAS A TODOS POR ESTAR EN MI VIDA!!!

Resumen

A raíz de la superación de las concentraciones límites establecidas en la norma de MP10, ocurridas entre los años 2004 y 2007, en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, esta fue declarada zona saturada por el Ministerio del Medio Ambiente en el año 2009. Posteriormente, en el año 2013 se elaboró un Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle con el objetivo de reducir la concentración de contaminantes y cumplir con la normativa de Calidad del Aire.

En general, uno de los aportantes a la contaminación atmosférica son las plantas generadoras de energía de ciclos convencionales en base a combustibles fósiles. Teniendo presente que la energía es una de las mayores necesidades del país (debido a los requerimientos industriales y domésticos), hoy en día se intenta diversificar la matriz de generación, utilizando, por ejemplo, generadores eléctricos de Ciclo Combinado con Turbinas de Gas las cuales disminuyen el aporte de contaminantes a la atmósfera.

Sin embargo, con las restricciones impuestas por el Plan de Descontaminación Atmosférica en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, la implementación de nuevos proyectos industriales en esta área requiere de tecnologías que aseguren bajas emisiones de MP10 y si se generan más emisiones de lo que permite el plan, las empresas están obligadas a implementar medidas de compensación que mantengan el Valle dentro de los valores establecidos en la normativa.

Debido a lo anterior, se evaluó la factibilidad ambiental para la implementación de una Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado con Turbina a Gas, en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, ya que, si bien las emisiones generadas

de MP10 y NO_x están por sobre la situación base de la zona generando un aumento de un 269,8% y 910,1% respectivamente, existen medidas de compensación que podrían viabilizar su implementación, estas apuntarían a el Reemplazo en la calefacción y cocinas, Evitar las quemas agrícolas, Acondicionamiento de caminos rurales y Chatarrización de vehículos livianos y pesados.

De las medidas de compensación se destacó por su eficacia el Acondicionamiento de caminos rurales por su alto porcentaje de disminución de las emisiones de MP10 de los caminos rurales, en alrededor de un 90%, y la Chatarrización de vehículos livianos y pesados ya que genera reducciones de emisiones de NO_x de aproximadamente 1,6 T por año por vehículo pesado, provocando que solo se necesiten chatarrizar 85 de ellos por año para compensar las emisiones generadas por una central de Ciclo Combinado con Turbinas de Gas.

Abstract

Through overcoming the limits established in standard concentrations of PM10, which occurred between 2004 and 2007, in the Central Vally of the Libertador Bernardo O'Higgins Region this area was declared a high pollution by the Ministry Environment in 2009. Subsequently, in 2013 the ministry prepared a Atmospheric Decontamination Plan for the Valley with the aim of reducing concentration of pollutants and comply with the regulations of Air Quality.

In general, one of the contributors to air pollution are the power plants of conventional cycles based on fossil fuels. Regarding that energy is one of the greatest needs of the country (due to industrial and domestic requirements), today attempting to diversify the generation matrix using, for example, electric generators Combined Cycle Gas Turbine which reduce the contribution of pollutants into the atmosphere.

However, with the restrictions imposed by the Atmospheric Decontamination Plan in the Central Vally of the Libertador Bernardo O'Higgins Region, the implementation of new industrial projects in this area requires technologies that ensure low emissions of PM10 and if more emissions are generated of allowing the Atmospheric Decontamination Plan, companies are obliged to implement compensation measures to keep the Valley within the values established in the regulations.

Due to this, the environmental feasibility for the implementation of a Thermal Power Plant Combined Cycle Gas Turbine assessed in the Central Vally of the Libertador Bernardo O'Higgins Region, since, although the emissions of PM10 and they NOx are above the base situation of the area generating an increase of 269,8% and 910,1% respectively, there are compensation measures that could enable their implementation, these would point to the replacement of heating and kitchens, Stop agricultural burning, Conditioning of rural roads and scrapping of light and heavy vehicles.

From compensation measures stood out for their effectiveness conditioning rural roads for its high percentage of decrease emissions of PM10 from rural roads, at around 90%, and to scrap light vehicle and heavy since it generates reductions in NO_x emissions of about 1.6 T per year per heavy vehicle, causing chatarrizar needed only 85 of them per year to offset the emissions generated by a Combined Cycle Gas Turbine.

Índice de Contenidos.

Resumen	v
Abstract	vii
Índice de Contenidos	ix
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xiii
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Generales.....	1
1.1.1. Material Particulado.....	1
1.1.2. Contaminación por Material Particulado.....	2
1.1.3. Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica.....	3
1.2. Antecedentes Específicos.....	6
1.2.1. Características del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	6
1.2.1.1. Geografía y Clima.....	6
1.2.1.2. Población.	7
1.2.1.3. Actividad Económica.	8
1.2.2. Contaminación Atmosférica en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	8
1.2.3. Plantas Generadoras de Energía Eléctrica.....	8
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo General.....	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. Metodología	13
3.1. Determinación de las condiciones y restricciones ambientales impuestas en la Región de O'Higgins.	13
3.2. Evaluación de las emisiones MP de los distintos tipos de generadoras de energía operando en Chile.....	14
3.3. Determinación de requisitos y medidas que debería cumplir un proyecto energético CCGT en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins	16
4. Resultados	18

4.1.	Caracterización de Plan de Descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	18
4.1.1.	Antecedentes que generaron la declaración de zona saturada.....	18
4.1.1.	Antecedentes del Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Región Libertador Bernardo O'Higgins.....	21
4.1.1.1.	Sobre las principales fuentes de emisiones del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	21
4.1.1.1.1.	Quema Agrícola en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	23
4.1.1.1.2.	Emisiones asociadas a las fuentes móviles.....	24
4.1.1.1.3.	Combustión a leña en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins	25
4.1.2.	Antecedentes y evolución de la calidad de Aire del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	26
4.1.3.	Metas establecidas por el Plan de Descontaminación Atmosférica.....	28
4.1.3.1.	Medidas para la compensación de emisiones.....	28
4.2.	Centrales de Energía en Chile.....	30
4.2.1.	Antecedentes de las Centrales Energéticas en Chile.....	30
4.2.2.	Comparación entre centrales Termoeléctricas de Ciclo Convencional y Centrales Termoeléctricas de Ciclo combinado con turbinas a gas...	30
4.2.3.	Funcionamiento de Centrales Termoeléctricas.....	31
4.2.3.1.	Funcionamiento de Termoeléctricas de Ciclo Convencional.....	31
4.2.3.2.	Funcionamiento de Centrales Ciclo Combinado con Turbinas a Gas (CCGT).....	34
4.2.4.	Emisiones de Centrales Termoeléctricas de Ciclo Convencional y CCGT.....	35
4.3.	Condiciones de Funcionamiento de una Central CCGT en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	36
4.3.1.	Sobre las emisiones de MP10, NO _x y SO _x	36
4.3.2.	Sobre los gases CO, COV y NH ₃	37
4.4.	Medidas de Compensación a adoptar por una central CCGT.....	37
4.4.1.	Medidas de compensación para emisiones de MP10 y NO _x	38

4.4.1.1.	Reemplazo de calefacción y cocinas.....	38
4.4.1.2.	Evitar las quemas agrícolas.....	39
4.4.1.3.	Acondicionamiento de Caminos Rurales.....	40
4.4.1.4.	Chatarrización de Vehículos livianos y pesados.....	42
5.	Discusión.....	46
5.1.	Plan de Descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	46
5.2.	Análisis de la Comparación entre las termoeléctricas a carbón y Centrales de Ciclo Combinado con Turbina de Gas (CCGT).....	47
5.3.	Medidas de Compensación.....	48
6.	Conclusiones.....	52
7.	Referencias.....	53
8.	Anexos.....	58
8.1.	Anexo 1: Artículo 33: "Compensación de Emisiones", Decreto 15, 2013.....	58
8.2.	Anexo 2: Datos para los cálculos de las reducciones de emisiones de Chatarrización de vehículos.....	61
8.2.1.	Clasificación de vehículos.....	61
8.2.2.	Distancia Recorrida por los vehículos.....	62
8.2.3.	Probabilidad de vida de un vehículo.....	63
8.2.4.	Factor de emisión para los vehículos.....	63
8.2.5.	Emisiones generadas en el proceso de reciclajes de un vehículo.....	66
8.2.6.	Esperanza de vida útil del vehículo.....	67

Índice de Tablas.

Tabla 1.	Resumen de proyectos y ante proyectos de Planes de Descontaminación Atmosférica de Chile.....	5
Tabla 2.	Datos de INE de la población de las comunas declaradas completamente o parcialmente saturadas de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	7
Tabla 3.	Empresas en Operación, en Construcción y en Proceso de Calificación ambiental, que generan energía en Chile.....	11
Tabla 4.	Datos del Promedio anual y del Promedio Trianual de MP10 de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2007.....	19
Tabla 5.	Datos de los Percentiles 98 del promedio de 24 horas, de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2007.....	19
Tabla 6.	Inventario de emisiones para la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Estudio FNDR "Diagnostico y Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región", 2008.....	22
Tabla 7.	Datos de superficies quemadas por quemas agrícolas de cada comuna.....	24
Tabla 8.	Datos de consumo medio anual de cada comuna del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	26
Tabla 9.	Datos de los Percentiles 98 del promedio de 24 horas, de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2011.....	27
Tabla 10.	Evolución del Promedio Anual MP10 de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2011.....	28
Tabla 11.	Límites para la compensación de emisiones del Valle Central de la Región del Libertados Bernardo O'Higgins.....	29
Tabla 12.	Comparación entre centrales Termoeléctricas de ciclo Convencional y Central de ciclo Combinado con turbina de Gas (CCGT).....	31

Tabla 13.	Emisiones generadas por las centrales de Ciclo convencional y CCGT declaradas en el RETC.....	36
Tabla 14.	Comparación entre el límite para la compensación de emisiones v/s las emisiones del proyecto.....	37
Tabla 15.	Datos para cálculos de emisiones para vehículos livianos tipo 1 y 3.....	64
Tabla 16.	Datos para cálculos de emisiones para vehículos livianos tipo 2 y 4.....	64
Tabla 17.	Factores de emisión de para los para vehículos livianos tipo 5, vehículos medianos y vehículos pesados.....	65
Tabla 18.	Asignación norma-año de las Normas EURO para los distintos tipos de Vehículos en Chile.....	66
Tabla 19.	Cantidad de chatarra reciclada por la empresa Gerdau Aza entre los años 2003 y 2006.....	66
Tabla 20.	Emisiones generadas por la empresa Gerdau Aza entre los años 2003 y 2006.....	67
Tabla 21.	Emisiones generadas por la chatarrización de los distintos tipos de vehículos.....	67
Tabla 22.	Esperanza de vida útil para los diferentes tipos de vehículos.....	68

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins (Elaboración propia).....	6
Figura 2.	Gráfico de los porcentaje de Generación de energía según tipo de Combustible (Elaboración propia).....	9
Figura 3.	Muestra las Comunas de la Región de O'Higgins declaradas como zonas saturadas por MP10. Las comunas marcadas con amarillos son las comunas declaradas totalmente como zonas saturadas y las de azul parcialmente como zonas saturadas (Elaboración propia).....	20
Figura 4.	Gráfico del porcentaje de Generación de energía según tipo de combustible utilizado (Boletín Mercado Eléctrico 2015).....	30
Figura 5.	Esquema del funcionamiento de una Central Energética de Ciclo Convencional en base a combustibles fósiles (Elaboración propia).....	34

Figura 6. Esquema del funcionamiento de una Central Energética de Ciclo Combinado con Turbina de Gas (Elaboración propia).....	35
Figura 7. Probabilidad de vida de un vehículo liviano particular de 20 años de antigüedad, dado que está vivo en $t_0=0$ (Elaboración de Cifuentes, 2009).....	68

1. Introducción

1.1. Antecedentes Generales

1.1.1. Material Particulado

El material particulado (MP) es un contaminante mundialmente asociado a eventos de mortalidad y morbilidad de la población (Pope y Dockery, 2006). Este contaminante no solo presenta un impacto negativo para la población, sino que también produce daños en la flora y en la fauna (Morales, 2006).

El MP son partículas formadas por la mezcla de materiales inorgánicos y orgánicos que llegan a la atmósfera mediante procesos naturales del tipo físico, químico o biológico o mediante emisiones de la actividad antropogénica (Morales, 2006). Estas partículas se pueden emitir directamente (MP primario) o se pueden formar en la atmósfera (MP secundario) a través de distintos gases (sulfatos, nitratos, compuesto orgánicos y metales pesados) que al ser liberados a la atmósfera reaccionan de diversas maneras hasta formar parte del MP.

El tamaño del MP presente en la atmósfera varía entre 0,001 μm y 50 μm (Préndez et al., 2007). La fracción de partículas menores o iguales a 10 μm (MP10) se les denomina Material Particulado respirable ya que pueden penetrar a diferentes profundidades del sistema respiratorio. De esta manera mientras más pequeñas sean las partículas, éstas son respirables en mayor porcentaje, así el MP menor a 10 μm , como por ejemplo el MP2,5 (partículas con diámetro igual o menor 2,5 μm), son respirables en un 100% (Préndez, 1993; Cohen y Hering, 1995).

En este contexto, se debe considerar la estrecha relación que existe entre la exposición a altas concentraciones de MP respirable y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. De esta manera cuando las concentraciones de MP

son reducidas, la mortalidad también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Dentro de los efectos que causa la exposición a la contaminación por MP10 en la salud de las personas están los efectos agudos y crónicos. Los efectos agudos pueden ser envenenamiento por humo, reacciones alérgicas, conjuntivitis, irritación e inflamación del tracto respiratorio e infecciones respiratorias (Organización Mundial de la Salud, 1991). Los efectos crónicos pueden desencadenar en enfisema, bronquitis crónica, arteriosclerosis, y cánceres nasales, de garganta, pulmón, y sistema hematopoyético (Douglas et al., 1997).

1.1.2. Contaminación por Material Particulado

Según estudios del año 2012, la contaminación atmosférica en todo el mundo provoca 3,7 millones de defunciones prematuras, cada año; esta mortalidad se debe a la exposición a pequeñas partículas igual o menor a 10 μm (Organización Mundial de la Salud, 2014).

En Chile, en la actualidad, se estima que alrededor de 10 millones de personas se encuentran expuestas a una concentración promedio anual de MP respirable superior a lo establecido como límite en la norma primaria de MP10 (Decreto Supremo N° 59, 1998) y la norma primaria de MP2,5 (Decreto Supremo N° 12, 2011).

Las principales fuentes de contaminación de MP10 se clasifican como fuentes fijas, móviles y fugitivas. Las fuentes fijas son las instalaciones o actividades establecidas en un solo lugar o área, aquí se consideran, por ejemplo, las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales. Las fuentes móviles corresponden a las emisiones provenientes de los distintos tipos de transporte: automóviles, camiones, buses y motocicletas. Las fuentes fugitivas,

consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como de la construcción, demolición, entre otras (Informe del Estado del Medio Ambiente, 2011).

Según el reporte 2005-2009 del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), se emiten alrededor de 86.282,53 T/año de MP10 en todo el país, siendo aproximadamente el 75% correspondientes a emisiones de fuentes fijas (Informe RETC, 2005-2009). De esta manera, debido a los altos niveles de concentración de MP y gases liberados a la atmósfera, las autoridades han declarado a diferentes ciudades como zonas latentes, saturadas o contaminadas dependiendo del tipo de contaminante y de la norma que se esté superando (Informe del Estado del Medio Ambiente, 2011).

En Chile para definir y declarar a una zona en condición de latente, saturada o contaminada respecto a la Calidad del Aire, se cuenta con una Red de Estaciones de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMRP). Así dependiendo del nivel de superación de la norma de MP, se podrá diagnosticar, desarrollar e implementar Planes de Descontaminación (PDA) o Planes de Prevención y Descontaminación (PPDA).

1.1.3. Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica

Un PPDA, en Chile, es un instrumento que tiene por finalidad evitar la superación de una o más normas de calidad ambiental primaria o secundaria en una zona determinada, mientras que un PDA tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en tales las normas en una zona declarada como saturada (Informe del Estado del Medio Ambiente, 2011).

En el año 1992 se realizó el primer PDA en la Región de Valparaíso, en el Complejo Industrial Ventanas, cuyo objetivo principal fue lograr cumplir la norma de calidad de aire para anhídrido sulfuro en un periodo máximo de 7 años (Decreto Supremo N°252, 1992). En la actualidad en el país existen 10 planes vigentes, 2 proyectos en etapa final, 2 proyectos en elaboración, 3 Anteproyectos y 3 Anteproyectos en elaboración (ver Tabla 1). De los planes de descontaminación vigentes, 5 se encuentran ubicados en el norte del país, 4 se encuentran ubicados en la zona central, y sólo uno de estos planes está en el sur del país. Sin embargo y a pesar de su implementación, en muchas zonas del país aún se superan los niveles establecidos en las normas de calidad (Planes Descontaminación Atmosférica, 2014).

Tabla 1. Resumen de proyectos y ante proyectos de Planes de Descontaminación Atmosférica de Chile.

Situación	Área	Contaminante
Proyectos Vigentes	Tocopilla	MP10
	María Elena - Pedro de Valdivia	MP10
	Chuquicamata	MP10 y SO ₂
	Potrerosillos	MP10 y SO ₂
	Paipote - Tierra Amarilla	SO ₂
	Puchuncavi y Quintero (Ventanas)	MP10 y SO ₂
	Región Metropolitana	MP10
	Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins	MP10
	Caletones	MP10 y SO ₂
Proyectos en Etapa Final	Temuco y Padre las Casas	MP10
	Andacollo	MP2,5
Elaboración de Proyectos	Osorno	MP10 y MP2,5
	Chillan y Chillan Viejo	MP10 y MP2,5
Anteproyecto	Huasco	MP10
	Talca – Maule	SO ₂
	Coyhaique	MP2,5
Elaboración de Anteproyecto	Concepción, Lota, Corone, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Penco, Tome, Hualpén y Talcahuano	MP2,5
	Los Ángeles	MP10 y MP2,5
	Región Metropolitana	MP2,5

El último plan decretado en Chile entró en vigencia en el año 2013 para el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, a través del Decreto Supremo N°15, el cual va dirigido al control de la condición de saturación por MP10 generada en esta zona.

1.2. Antecedentes Específicos

1.2.1. Características del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

1.2.1.1. Geografía y Clima

El Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins abarca una superficie de 16.365 Km². Sus límites son, por el norte la Región Metropolitana de Santiago, al sur la Región del Maule, al oeste con la Cordillera de la costa y al este con la Cordillera de Los Andes (Figura 1; Anteproyecto del Plan de descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, 2012).

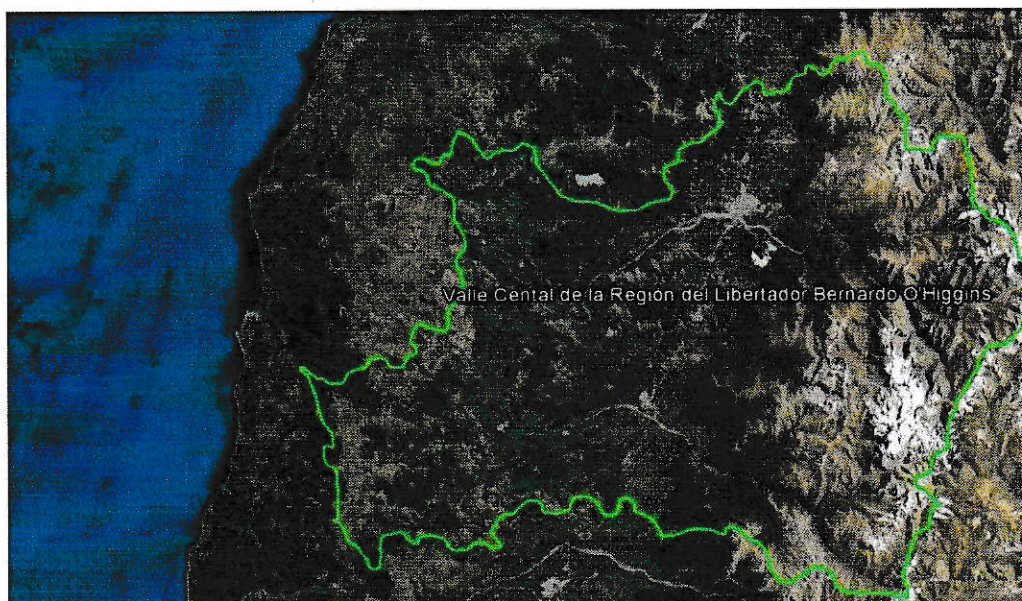


Figura 1. Mapa del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins (Elaboración propia).

El Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins se caracteriza por un clima templado-cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada. Las precipitaciones anuales varían entre 446 mm en la comuna de Rancagua y 773 mm en la comuna de San Fernando.

1.2.1.2. Población

En el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins se encuentra la mayor concentración de habitantes de la Región, alrededor de 688.364 habitantes en el año 2011 (ver Tabla 2), tomando como referencia que para ese año había un total de 886.178 habitantes (Fuente INE). Esta Región es mayoritariamente urbana concentrando el 78,6% de los habitantes en los centros urbanos y solo un 21,4% vive en sectores rurales.

Tabla 2. Datos de INE de la población de las comunas declaradas completamente o parcialmente saturadas de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Nº	Comuna	Estimación población 2011	% Población Urbana CENSO 2002	% Población rural CENSO 2002
1	Rancagua	248.033	96,6	3,4
2	San Fernando	73.245	80,2	19,8
3	Rengo	60.857	72,9	27,1
4	San Vicente de Tagua Tagua.	47.172	54,6	45,4
5	Chimbarongo	34.602	52,3	47,7
6	Machalí	35.365	93,8	6,2
7	Graneros	30.672	84,3	12,7
8	Requínoa	25.952	50,4	49,6
9	San Fco. De Mostazal	26.671	81,9	18,1
10	Doñihue	20.211	92,2	7,8
11	Coltauco	17.546	42,9	57,1
12	Malloa	13.756	43,6	63,4
13	Olivar	13.981	64	63
14	Quinta de Tilcoco	12.012	51,4	48,6
15	Codegua	12.594	48,7	51,4
16	Placilla	8.508	26,2	73,8
17	Coinco	7.187	64,2	35,8
	Total	688.364	78,6	21,4

1.2.1.3. Actividad Económica

La actividad económica de la zona, medida a través del PIB, representa el 4.17% del PIB nacional en el año 2014. Los principales aportes al PIB, son la actividad silvo-agropecuaria (13,50%), la industria manufacturera (13,34%), el comercio, restaurant y hoteles (6,00%), la minería (23,61%) y construcción (13,34%) (PIB Regional, 2014).

1.2.2. Contaminación Atmosférica en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Los problemas de contaminación que presenta la Región han sido estudiados desde el año 1996, conjuntamente con la implementación del Proyecto de Calidad del Aire para la ciudad de Rancagua. El principal problema de contaminación de la ciudad de Rancagua, que representa el 36% de la población afectada por la contaminación, se relaciona con el MP10, siendo su mayor contribuidor el MP2,5 (Anteproyecto del Plan de descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, 2012). A su vez, la comuna con menor número de habitantes es Coinco con aproximadamente un 2% de la población afectada por la contaminación de MP10.

1.2.3. Plantas Generadoras de Energía Eléctrica

En Chile existe un gran problema de abastecimiento energético, actualmente se generan alrededor 19.881,1 MW de potencia anuales (Generadoras de Chile A. G., 2015) y se pronostica que al año 2020 se necesiten cerca de 70.300 GWh, de esta manera se busca poder aumentar la generación de energía para poder abastecer el consumo actual y proyectado (Comisión Nacional de Energía, 2014). Pero esto se ve afectado ya que las formas de generación de energía actuales contribuyen a la contaminación de diversas maneras.

Es posible señalar que las fuentes de contaminación atmosférica más conocidas son las plantas generadoras de energía eléctrica como termoeléctricas de ciclo convencional, las cuales funcionan en bases a combustibles como derivados del petróleo, gas natural, carbón, estas son el mayor contribuidor de MP y gases contaminantes a la atmósfera (Guías de Termoeléctricas, 2014). Estas empresas son de vital importancia para el país, ya que en conjunto a las hidroeléctricas abastecen el 90% de la energía que se utiliza en el país (Boletín del Mercado Eléctrico, 2015).

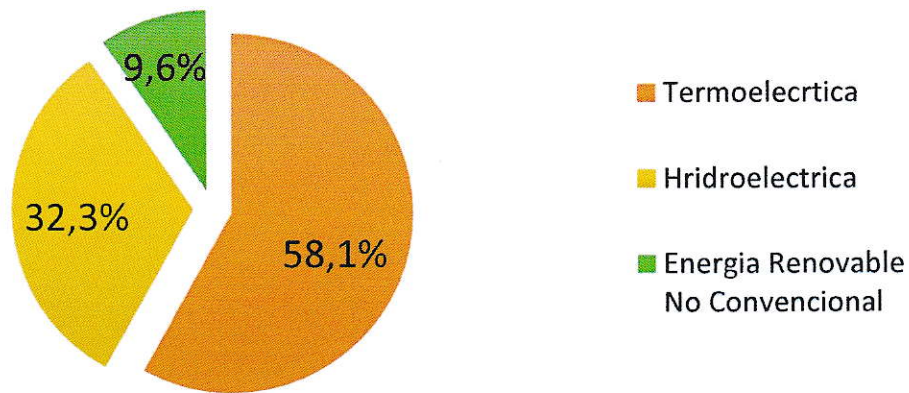


Figura 2. Gráfico de los porcentajes de Generación de energía según tipo de Combustible (Elaboración propia).

En la búsqueda de nuevas tecnologías para cubrir los requerimientos de la industria y la comunidad y además operar con el menor impacto posible en el medio ambiente, actualmente existen empresas que han comenzado a integrar generadores eléctricos de ciclo combinado con turbinas de gas (CCGT) con el fin de disminuir el aporte de material particulado y otros gases contaminantes a la atmósfera y así mejorar el rendimiento de la empresa.

Las CCGT son instalaciones que transforman la energía térmica del gas natural en electricidad aprovechando el calor residual de los gases de combustión generados en

las turbinas a gas existentes, produciendo el vapor necesario para el turbogenerador. Las principales emisiones que generan el CCGT son gases como el NO_x y CO_2 (Gas Natural Fenosa, 2004).

En la actualidad en Chile existen 13 empresas que operan con CCGT, de las cuales 1 corresponde a una empresa trasandina. También existe 1 empresa que se encuentra en fase de construcción y 2 empresas que están en proceso de Calificación ambiental (ver Tabla 3; Servicio de Evaluación Ambiental, 2015).

Tabla 3. Empresas en Operación, en Construcción y en Proceso de Calificación ambiental, que generan energía en Chile.

Fase	Ubicación	Empresa	Nombre Instalación	Inicio Operación	Potencia instalada (MW)
En Operación	Región de Tarapacá	Enersis	Tarapacá	2013	182
	Región de Antofagasta	E-CL S.A.	Mejillones	2000	310,13
	Región de Antofagasta	E-CL S.A.	Coloso	2000	390
	Región de Antofagasta	Endesa Chile	Central Taltal	2000	244,9
	Región de Antofagasta	E-CL S.A.	Tocopilla	2000	400
	Región de Atacama	Endesa Chile	Atacama	1999 - 2000	780,58
	Región de Valparaíso	Colbun	Nehuenco I	1999	368
	Región de Valparaíso	Colbun	Nehuenco II	2003	398
	Región de Valparaíso	Endesa Chile	San Isidro - I	1998	379
	Región de Valparaíso	Endesa Chile	San Isidro - II	2007 - 2008	353
	Región de Valparaíso	AES Gener	Central Laguna Verde	2007	394
	Región Metropolitana	AES Gener	Nueva Renca	1998	379
	Región del Biobío	Campanario Generación S.A.	Campanario	2006	390
	Argentina**	TermoAndes S.A	Central Termoeléctrica Salta	1999	642,8
En Construcción	Región de Antofagasta	Kelar S.A.	Centra Kelar	2017*	540 ⁺
En Proceso de Calificación Ambiental	Región de Valparaíso	Cerro el Plomo S.A.	Los Rulos	-	540 ⁺
	Región del Biobío	Biobiogenera	El Campesino	-	640 ⁺

*Fecha estimada para el inicio de operación.

** Empresa trasandina unida al Sistema Interconectado del Norte Grande.

⁺ Potencia prevista en fase de operación (MW).

De acuerdo a lo señalado en los párrafos anteriores, este Seminario de Título tiene por objetivo principal determinar la factibilidad ambiental de la incorporación de nuevas fuentes de emisión de material particulado y gases, como por ejemplo una planta CCGT, en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, teniendo en cuentas las restricciones y condiciones que impone el Plan de Descontaminación Atmosférica decretado para esa Zona.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Determinar la factibilidad ambiental para la implementación de proyectos industriales que generen emisiones a partir de las condiciones o restricciones establecidas en los decretos de declaración de zona saturada y del plan de descontaminación decretado para el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

2.2. Objetivos Específicos

- I. Caracterización y definición de las condiciones que generaron la declaración de zona saturada y las restricciones que impone el plan de descontaminación.
- II. Caracterización de las emisiones asociadas a proyectos industriales de generación de energía, en particular una planta CCGT.
- III. Determinar la factibilidad ambiental de proyectos industriales de generación de energía en el marco de la declaración de zona saturada y el plan de descontaminación del Valle Central de la Región de O'Higgins.

3. Metodología

3.1. Determinación de las condiciones y restricciones ambientales impuestas en la Región de O'Higgins

- I. Se realizó una caracterización de la zona, a través de los datos entregado por el Anteproyecto del Plan de Descontaminación Ambiental del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, datos de Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y los dantos del Producto Interno Bruto (PIB) de la zona. A través de estos se obtuvo:
 - Geografía y Clima.
 - Población
 - Actividad Económica
- II. A partir del D.S. N°7 fue posible determinar las comunas que se encuentran catalogadas totalmente o parcialmente como zonas saturadas en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
- III. A través del Plan de Descontaminación Ambiental del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y del Anteproyecto del Plan de Descontaminación Ambiental del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, se obtuvieron las principales características que provocaron la declaración de zona saturada, las principales fuentes de emisión atmosféricas de cada comuna en el Valle, las metas que se establecieron y en qué periodo se deberán cumplir, y por último se analizaron las principales restricciones que deben cumplir las empresas que entren al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para poder operar en el Valle.

3.2. Evaluación de las emisiones MP de los distintos tipos de generadoras de energía operando en Chile

- I. Se realizó una búsqueda de información sobre las plantas de generación de energía que funcionan actualmente en Chile, esta información fue recopilada del Ministerio de Energía y de la Asociación Gremial de Generadoras de Chile.
- II. Se definieron cuáles son las principales formas de generación de energía y los tipos de combustible utilizados en Chile a través de datos entregados por el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), en los boletines emitidos por la Asociación Gremial de Generadoras de Chile.
- III. Se realizó una comparación, de las principales características de las diferentes Termoeléctricas, entre centrales de ciclo convencional a carbón y a diésel, y una Central de Ciclo Combinado con Turbina de Gas. La información fue recopilada en proyectos ingresados a evaluación ambiental al SEIA, y de datos entregados por diferentes centrales de energía en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), las características consideradas para la comparación fueron:
 - La potencia instalada.
 - El consumo energético.
 - El consumo de agua.
 - El rendimiento energético.
 - La ocupación del suelo.
 - El tiempo de construcción.
 - El medio de transporte del combustible.
 - La flexibilidad de operación.

- El límite de tiempo de funcionamiento.
 - La disponibilidad de suministro.
 - El tratamiento de combustible previo a ingreso de caldera.
 - El total emisiones.
- IV. Se realizó una caracterización del funcionamiento de las centrales de ciclo convencional y de Ciclo Combinado con Turbina de Gas, a través de información obtenida de la Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas generadas por la Superintendencia del Ministerio del Medio Ambiente.
- V. Se realizó una comparación del tipo y cantidad de emisiones atmosféricas generadas entre los diferentes tipos de Termoeléctricas, a carbón, a diésel y gas. Esta comparación se realizó con los datos entregados por las diferentes centrales de energía al Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), dentro de los datos que informan se encuentran:
- Benceno (Kg/año).
 - Compuestos Orgánicos Volátiles (T/año).
 - Dióxido de azufre (SO₂; T/año).
 - Dióxido de carbono (CO₂; T/año).
 - Mercurio (T/año).
 - Monóxido de carbono (CO; T/año).
 - Material particulado (T/año).
 - MP10 (T/año).
 - MP2,5 (T/año).
 - Nitrógeno amoniacal (o NH₃; T/año).
 - Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano (g/año).

- Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F; Kg/año)
- NO_x (T/año).

3.3. Determinación de requisitos y medidas que debería cumplir un proyecto energético CCGT en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

- I. Con la información obtenida sobre la situación del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, las condiciones que deben cumplir las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera, establecidas en el Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y las características de funcionamiento y emisiones de una Central de Ciclo Combinado con Turbina de Gas (CCGT) se definieron cuáles son las condiciones mínimas que deberá cumplir esta última para poder operar en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, esto en base a la cantidad de emisiones generadas por las centrales CCGT y al porcentaje de superación que generan sobre la emisiones permitidas en el PDA.
- II. Se analizaron diferentes medidas de compensación que debe adoptar un CCGT, obtenidas de diferentes Estudios de Impacto Ambiental elaborados por empresas que han ingresado sus proyectos al SEIA; en programas implementados por el gobierno de Chile tales como el "Programa Caminos Básicos 5000", el "Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana", tesis de la Universidad Austral de Chile: "Análisis comparativo para ejecución de estabilización de suelos, entre procesos tradicionales y el estabilizador de suelos Soiltac", y tesis de la Universidad de Ingeniera de Perú:

“Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con cloruro de magnesio aplicación vía de acceso a Caral (Km05+000 – Km 15+000)”.

- III. Por último y de acuerdo a la evaluación realizada en los puntos anteriores, se determinó la factibilidad ambiental, para el desarrollo de un proyecto de CCGT en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, esto se basó en cuan eficaces son las medidas analizadas y si son factibles de operar en una zona como el Valle, a partir de los datos obtenidos del Programa Caminos Básicos 5000 y el Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana.

4. Resultados

4.1. Caracterización de Plan de Descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

4.1.1. Antecedentes que generaron la declaración de zona saturada

El Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins fue declarada como zona saturada producto de los resultados (concentraciones) entregados por las estaciones de monitoreo de la calidad del aire, entre los años 2004 y 2007, en las comunas de Codegua, San Francisco de Mostazal, Casas de Peuco, Rancagua, Rengo y San Fernando. Todas declaradas como Estación de Monitoreo de material particulado respirable MP10 con representatividad poblacional (EMRP) por la Secretaría Regional Ministerial de Salud Región de O'Higgins.

Estos datos permitieron llegar a la conclusión que la norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10 (D.S. N° 59, 1998), como concentración anual y concentración de 24 horas, era superada en varias comunas de la Región de O'Higgins. El límite de la concentración anual es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se considera sobrepasada cuando la concentración anual calculada como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El límite para la concentración diaria es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se considerará sobrepasada cuando el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.S. N° 59, 1998).

Así las estaciones de San Francisco de Mostazal, Codegua y Rancagua han superado el límite de la concentración anual desde el año 2004 al año 2007, de acuerdo al promedio aritmético de tres años calendarios consecutivos (ver Tabla 4).

Tabla 4. Datos del Promedio anual y del Promedio Trianual de MP10 de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2007.

Estación	Promedio Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Promedio Trianual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	2004	2005	2006	2007	2004-2006	2005-2007
Rancagua	79	77	72	84	76	78
San Fco. De Mostazal	64	57	63	64	61	61
Codegua	67	54	61	66	61	60
Casa de Peuco	46	41	44	48	44	44

A su vez, la estación de Rancagua, en los años 2004, 2006 y 2007 y las estaciones de San Francisco de Mostazal y Codegua en los años 2004 y 2007, han superado la norma diaria, registradas durante cada periodo anual mencionado (ver tabla 5; Anteproyecto PDA Región de O'Higgins, 2012).

Tabla 5. Datos de los Percentiles 98 del promedio de 24 horas, de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2007.

Estación	Percentil 98($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	2004	2005	2006	2007
Rancagua	172*	143	153	186
San Fco. De Mostazal	152	128	146	154
Codegua	151	100	134	157
Casa de Peuco	105	81	112	110

* Corresponde a los primeros 12 meses de medición (Abril 2004 a Marzo 2005), los otros años son completos

De esta manera, considerando los datos de vientos, geografía y de modelos matemáticos de Dispersión elaborado por CONAMA Región de O'Higgins, entregado en el informe "Solicitud para inicio de trámite a Dirección Ejecutiva de CONAMA para declaración de zona saturada por material particulado respirable al Valle Central de la Región de O'Higgins", se declaró, en el año 2009, como zona saturada total o parcialmente a 17 comunas del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo

O'Higgins. Las comunas declaradas totalmente como zona saturada son: Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coínco, Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua-Tagua y Placilla. A su vez las declaradas parcialmente como zonas saturadas son: San Francisco de Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requínoa, San Fernando y Chimbarongo (ver Figura 3).

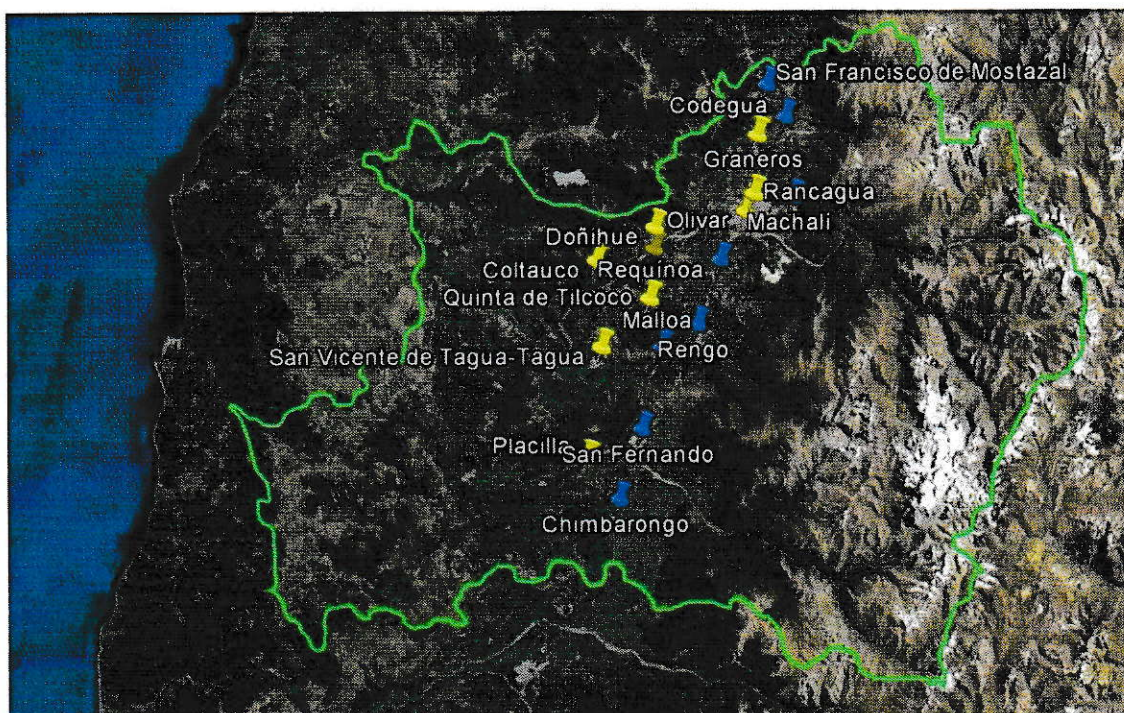


Figura 3. Muestra las Comunas de la Región de O'Higgins declaradas como zonas saturadas por MP10. Las comunas marcadas con amarillos son las comunas declaradas totalmente como zonas saturadas y las de azul parcialmente como zonas saturadas (Elaboración propia).

De esta manera en el año 2009 se publicó el Decreto Supremo N°7, el cual declaró zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración anual y de 24 horas el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4.1.2. Antecedentes del Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

4.1.2.1. Sobre las principales fuentes de emisiones del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Para determinar las fuentes de emisión que generan las concentraciones de contaminantes en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, en el año 2008 se realizó un inventario de las emisiones de la región, elaborado por el Fondo Nacional del Desarrollo Regional, llamado Diagnóstico y Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región (ver tabla 6).

Tabla 6. Inventario de emisiones para la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.
Estudio FNDR "Diagnostico y Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región", 2008.

Fuentes Estacionarias y Móviles 2006							
Categoría de Fuente	MP10 (T/año)	MP2,5 (T/año)	CO (T/año)	NO_x (T/año)	COV (T/año)	SO_x (T/año)	NH₃ (T/año)
Industria (Otras)	214	159	704	1.186	11	2.138	335
Industria Cobre	1.565	1.322	476	2.051	42	116.412	57
Combustión leña	5.261	5.113	48.275	557	21.700	73	442
Otras Residenciales	4	4	18	83	3.492	22	237
Evaporativas Comerciales	-	-	-	-	15.011	-	-
Quemas Agrícolas	2.257	2.157	14.584	636	1.320	84	526
Incendios Forestales	5.505	4.675	52.308	1.925	3.620	582	111.364
Otras Areales	5	4		1	41.122	-	-
Total Estacionarias	14.811	13.434	116.365	6.439	86.318	119.311	112.961
Buses Licitados	8	7	41	145	13	3	0
Otros Buses	64	57	288	1.256	149	31	1
Camiones	134	118	580	1.978	308	68	1
Vehículos Livianos	47	26	19.171	2.009	1.244	26	61
Fuera de ruta	67	61	347	376	60	-	-
Total móviles	320	269	20.427	5.764	1.774	128	63
Total	15.131	13.703	136.792	12.203	88.092	119.439	113.024

Este estudio registró las concentraciones de MP10; MP2,5; CO, NO_x, COV, SO_x y NH₃, cuyos resultados determinaron que la mayor parte de las concentraciones de MP10 correspondían a MP2,5.

Del inventario se concluyó que:

- La quema de biomasa, conformada por la combustión a leña de uso residencial, quemas agrícolas e incendios forestales, son los principales contribuidores de material particulado a la atmósfera.

- Las fuentes móviles son los principales responsables de emisiones de NO_x a la atmósfera. Estas fuentes también son responsables de las emisiones de polvo resuspendido.

4.1.2.1.1. Quema Agrícola en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

En base al inventario de emisiones regional del año 2006 y las proyecciones realizadas para el año 2007, la quema agrícola representa un 27% de las emisiones directas de MP10. Las quemas agrícolas se relacionan principalmente con la quema de rastrojos provenientes de la actividad agricultora del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Se calcula que se queman 4.977 Ha por año, siendo la comuna de San Fernando donde más hectáreas quemadas se registraron (ver tabla 7; Diagnostico y Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, 2008).

Tabla 7. Datos de superficies quemadas por quemas agrícolas de cada comuna.

Comuna	Superficie quemada por año (Ha)
Rancagua	78
San Vicente	580
San Fernando	1.588
Chimbarongo	462
Requinoa	173
Coltauco	68
Malloa	175
Codegua	502
Mostazal	30
Graneros	232
Rengo	209
Placilla	513
Doñihue	211
Coinco	139
Machali	11
Olivar	3
Quinta de Tilcoco	3
Total	4.977

4.1.2.1.2. Emisiones asociadas a las fuentes móviles

Según el inventario de emisiones regional, el sector transporte aporta el 44% de las emisiones de NO_x. Si bien el aporte en las emisiones de MP10 es bajo (total para fuentes móviles es 320 T/año) comparado con las emisiones de quemas de biomasa (total para la quema de biomasa es 13.023 T/año), las fuentes móviles son importantes por su composición, su toxicidad y por el impacto directo en las personas (Diagnostico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región, 2008).

La caracterización del parque automotor de la región del Libertador Bernardo O'Higgins realizada en base al estudio "Diagnostico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región" (2008) indica que los vehículos pesados, mayoritariamente a diésel, son responsables de más del 80% de la emisión de MP10 y del 63% de la emisión de NO_x.

Los vehículos livianos y medianos, donde predomina el uso de gasolina como combustible, son responsables del 95% del CO, 37% del NO_x y el 73% de los COV_s.

Para el caso de los buses de transporte público, los vehículos con tecnología tradicional, corresponden a la porción de la flota más antigua y concentran más del 60% del total para la región. Se trata de vehículos que fueron ingresados al país con anterioridad al año 1994 y, por lo tanto, no estaban sujetos a ninguna norma de emisión de contaminantes a la atmósfera. El resto del transporte público fue ingresado entre los años 1995 y 1999 cumpliendo solo con la norma de emisión EURO II.

4.1.2.1.3. Combustión a leña en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Según un estudio desarrollado por la Universidad de Concepción en el año 2010, se determinó que el consumo medio anual por hogar varía entre los 770 Kg y 3.200 Kg en las distintas comunas del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins (ver tabla 8), siendo las zonas rurales las con mayor consumo de leña frente a las zonas urbanas (Medidas para el control de la contaminación por combustión residencial de leña, 2010).

Tabla 8. Datos de consumo medio anual de cada comuna del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Comuna	Consumo medio anual (Kg)
Rancagua	1.450
San Vicente	3.000
San Fernando	2.014
Chimbarongo	3.200
Requinoa	2.800
Coltauco	770
Malloa	1.080
Codegua	1.600
Mostazal	1.590
Graneros	2.136
Rengo	1.400

La leña tiene diversos usos dentro de los que destaca la calefacción y la cocina, siendo los equipos más utilizados, estufas de combustión lenta (39,8%), salamandras (31,6%), cocinas de fierro (15,5%), Chimeneas (5,79%), estufas de lata (4,1%), otros artefactos de combustión (3,1%) (Medidas para el control de la contaminación por combustión residencial de leña, 2010).

4.1.2.1. Antecedentes y evolución de la calidad de Aire del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

En el año 2013 se decretó el Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (D.S. N°15, 2013), este plan fue decretado para las zonas saturadas declaradas totalmente y parcialmente por el D.S N° 7 en el año 2009.

El Plan no solo utilizó los antecedentes entregados por el D.S N°7, sino que también realizó un análisis de la evolución de la concentración MP10 desde el año 2004 al 2011 en las mismas estaciones de monitoreo de calidad de aire utilizadas

anteriormente. Así se determinó que hasta el año 2011 se seguía sobrepasando el límite establecido por la norma diaria para dicho parámetro. Por ejemplo, la comuna de Rancagua sobrepasó el límite del valor normado en los años 2009, 2010 y 2011, y en la comuna de San Francisco de Mostazal para el año 2011 (ver tabla 9).

Tabla 9. Datos de los Percentiles 98 del promedio de 24 horas, de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2011.

Estación	Percentil 98($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Rancagua	172	143	153	186	149	162	272	206
San Fco. de Mostazal	152	128	146	154	129	147	127	151
Codegua	151	100	134	157	113	136	105	115
Casa de Peuco	105	81	112	110	78	101	82	79

A pesar de la declaración de zona saturada la norma anual de MP10 siguió siendo superada en su promedio trianual en los años que se realizó la evaluación para el PDA, del año 2007 al 2011 (ver tabla 10), por lo anterior las comunas de Rancagua, San Francisco de Mostazal y Codegua continuaron siendo declaradas como zonas saturadas (ver tabla 10).

Tabla 10. Evolución del Promedio Anual MP10 de las estaciones de Monitoreo del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins desde el año 2004 al 2011.

Estación	Promedio Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Rancagua	79	77	72	84	65	80	**	84
San Fco. de Mostazal	64	57	63	64	62	64	65	67
Codegua	67	54	61	66	65	58	62	59
Casa de Peuco	46	41	44	48	47	48	43	43
Estación	Promedio Trianual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	2004-2006	2005-2007	2006- 2008	2007-2009	2008-2010	2009-2011		
Rancagua	76	78	74	76	**	**		
San Fco. de Mostazal	61	61	63	63	64	65		
Codegua	61	60	64	63	62	60		
Casa de Peuco	44	44	46	46	46	45		

* Corresponde a los primeros 12 meses de medición (Abril 2004 a Marzo 2005), los otros años son completos

** No cuenta con la cantidad de datos requeridos para el cálculo de concentración anual establecidos en el D.S. N°59.

4.1.3. Metas establecidas por el Plan de Descontaminación Atmosférica

En el Plan se estableció un plazo de 10 años para lograr que las concentraciones anuales y de 24 horas de MP10 disminuyan a $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, valor que se encuentra bajo la norma, que es $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la concentración anual y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio móvil de 24 horas.

4.1.3.1. Medidas para la compensación de emisiones

El PDA decretado para el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins estableció en su Artículo 32 que todos los proyectos o actividades nuevas y la modificación de proyectos existentes sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto

Ambiental (ver Anexo 2), deberán cumplir con una serie de condiciones dentro de las cuales destacan para este estudio:

- Si tienen asociada una emisión total anual que provoque un aumento sobre la situación base de la región (ver tabla 11), deberán compensar sus emisiones en un 120%.

Tabla 11. Límites para la compensación de emisiones del Valle Central de la Región del Libertados Bernardo O'Higgins.

Contaminante	Emisión Máxima (T/año)
MP10	5,00
SO _x	30,00
NO _x	15,00

- De esta manera las emisiones compensadas se deben realizar sobre las emisiones totales anuales, y se tomaran en cuenta tanto las emisiones directas como las indirectas.
- Así las empresas que generen un aumento en la situación base deberán presentar un Programa de Compensación de Emisiones con las medidas que tomaran y el plazo en que las realizaran, incluyendo los cálculos de reducción de emisiones y un programa de seguimiento.
- Dentro de los datos de emisiones que deben calcular informar también deberán incluir CO, COV y NH₃.

4.2. Centrales de Energía en Chile

4.2.1. Antecedentes de las Centrales Energéticas en Chile

En Chile existen 3 formas principales de generar electricidad: i) Centrales Termoeléctricas que operan a Gas Natural, Carbón y Derivados de Petróleo; ii) Centrales hidroeléctricas que corresponden a Embalses y Centrales de Pasada; entre otras; y iii) Centrales de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) tales como eólicas, solares, biomasas y Cogeneración. De este grupo, las centrales Termoeléctricas son las que poseen la mayor participación en la generación de energía (ver Figura 4), convirtiéndolas en centrales de vital importancia para el país.

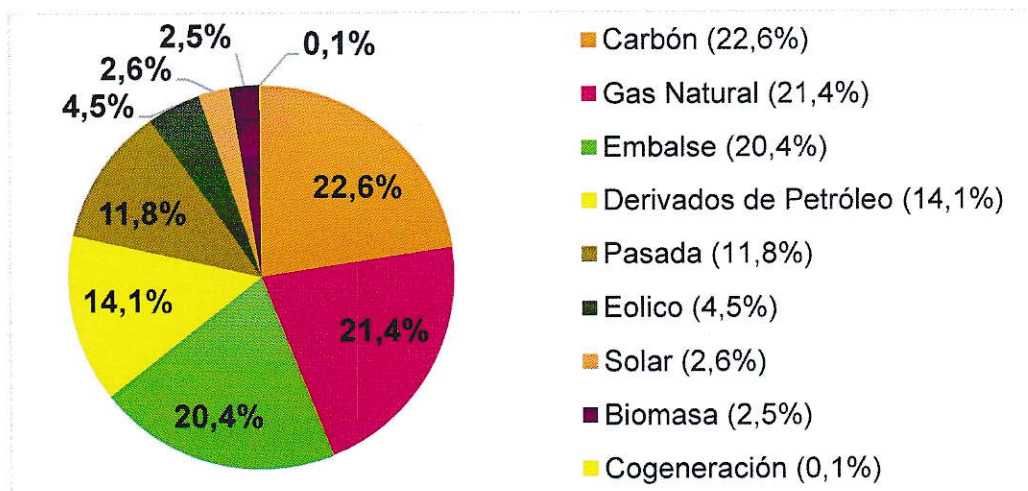


Figura 4. Gráfico del porcentaje de Generación de energía según tipo de combustible utilizado (Boletín Mercado Eléctrico 2015).

4.2.2. Comparación entre centrales Termoeléctricas de Ciclo Convencional y Centrales Termoeléctricas de Ciclo combinado con turbinas a gas

Las diferencias en las centrales Termoeléctricas son variadas dentro de las cuales se pueden ver diferencias desde las fases de construcción hasta el total de emisiones generadas en la etapa de operación (ver tabla 12).

Tabla 12. Comparación entre centrales Termoeléctricas de ciclo Convencional y Central de ciclo Combinado con Turbina de Gas (CCGT)

	CCGT	Termoeléctrica a Carbón	Termoeléctrica a Petróleo
Ejemplo potencia instalada (MW)	353	350	100
Consumo energético (T/h)*	45,5	243,13	22,1
Consumo de agua (m ³ /h)*	318	15.120	12.217
Rendimiento energético	60%	37%	37%
Ocupación del suelo (Ha)*	6,4	40	40
Tiempo de construcción (meses)*	30	40	48
Transporte de combustible	Gasoductos	Barcos y Camiones	Oleoductos, Barcos y/o Camiones especializados
Flexibilidad de operación	Operación a carga completa o a media carga	Operación a carga completa	Operación a carga completa
Límite de Tiempo de Funcionamiento	No tiene límite**	No tiene límite**	Máximo 8 horas Diarias
Disponibilidad de Suministro	Dependencia de factores externos	Dependencia de factores externos	Dependencia de factores externos
Tratamiento de Combustible previo a ingreso de caldera	No necesita	Necesita pulverización	Necesita Licuado
Total Emisiones*	201,440	266.644,290	75.345,495

*Datos aproximados

**El límite puede variar por las restricciones que existan en las zonas donde operen.

4.2.3. Funcionamiento de Centrales Termoeléctricas

4.2.3.1. Funcionamiento de Termoeléctricas de Ciclo Convencional

Una central térmica de Ciclo Convencional es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor mediante la combustión de un combustible fósil como carbón, petróleo y sus derivados (fueloil y petcoke) y gas natural. Si bien el proceso de estas centrales es prácticamente el mismo, independiente del combustible utilizado, existen diferencias en el tratamiento previo que se hace al combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño

de los quemadores de ellas y en las emisiones que generan los diferentes combustibles (Guías de Termoeléctricas, 2014).

El funcionamiento de una Central térmica de Ciclo Convencional consta de los siguientes pasos (Guías de Termoeléctricas, 2014):

- I. Lo primero que se realiza es el acondicionamiento del combustible, el cual va a depender del tipo de combustible a utilizar. Dentro de los acondicionamientos están:
 - Las centrales que utilizan combustibles sólidos, como carbón y petcoke, deben triturar y pulverizar el sólido hasta que quede convertido en un polvo muy fino, esto para facilitar su combustión. Luego son enviados a la caldera mediante chorro de aire precalentado.
 - Las centrales que utilizan derivados líquidos del petróleo (fueloil y gasoil, también conocido como diésel) requieren precalentar y licuar el líquido, para que esté tenga mayor fluidez, luego se inyecta en los quemadores que son adecuados para este combustible y luego son trasladados a la caldera.
 - Las centrales que utilizan gas natural no requiere realizar un tratamiento previo en el combustible, ya que los quemadores están acondicionados especialmente, por lo cual es proporcionado a la caldera directamente a través de gaseoductos.
- II. Una vez en la caldera se genera energía calórica, a través de la combustión del carbón, el gas o de los derivados de petróleo, esta energía genera que se evapore el agua que circula por una extensa red formada por miles de tubos que tapizan las paredes de la caldera.

- III. Luego el vapor a alta presión procedente de la caldera es conducido a la turbina, donde su expansión provoca el movimiento de ella, la cual mueve el eje del generador para transformar la energía mecánica en energía eléctrica.
- IV. En tanto, al otro extremo de la turbina está el condensador, que se mantiene a baja presión. El propósito del condensador es mejorar la eficiencia de la turbina, además de recuperar el vapor de agua para reingresarlo a la caldera. Se requiere un flujo constante de agua refrigerante a baja temperatura en las tuberías del condensador para mantener la presión adecuada en la carcasa (receptora del vapor) y así garantizar la eficiencia de la generación de energía.

Debido a que el agua refrigerante se calienta en el proceso de condensación, se utilizan distintos sistemas de refrigeración, tales como:

- i) Sistemas abiertos sin recirculación o de paso único, los cuales requieren de un suministro suficiente de agua para la refrigeración y de una masa de aguas superficiales que sirva como medio receptor de las descargas;
- ii) Sistemas húmedos de circuito cerrado (por ejemplo, torres de enfriamiento);
- iii) Sistemas de refrigeración con aire seco (por ejemplo, condensadores enfriados con aire).

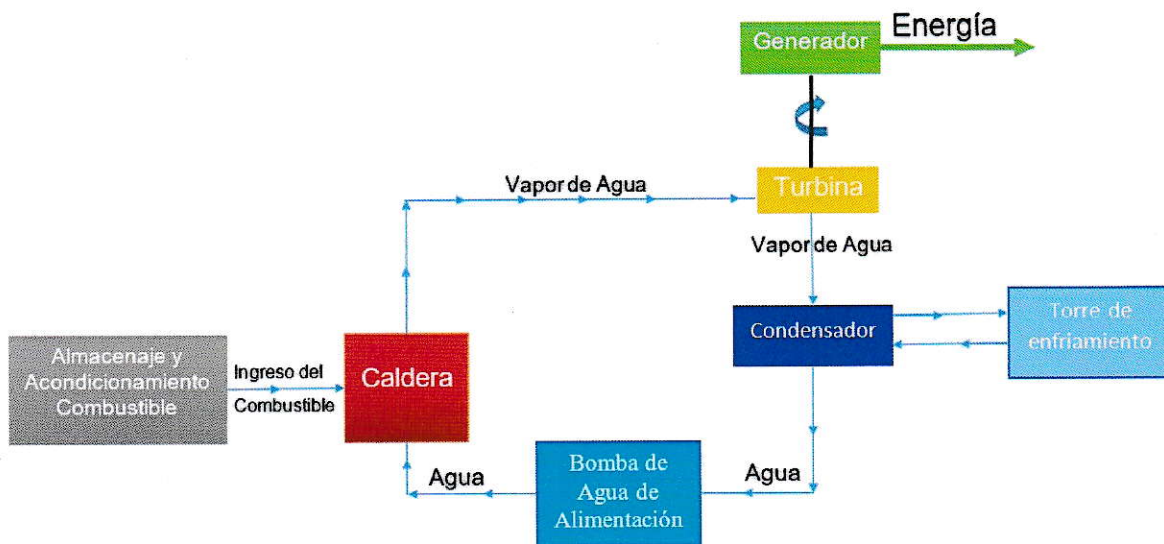


Figura 5. Esquema del funcionamiento de una Central Energética de Ciclo Convencional en base a combustibles fósiles (Elaboración propia).

4.2.3.2. Funcionamiento de Centrales Ciclo Combinado con Turbinas a Gas (CCGT)

Las Centrales Térmicas de Ciclos Combinados con turbina de Gas son instalaciones que generan energía eléctrica a través de la transformación de la energía térmica del gas natural en electricidad mediante dos ciclos consecutivos: el que corresponde a una turbina de gas convencional y el de una turbina de vapor (Guías de Termoeléctricas, 2014).

El funcionamiento de una Central térmica de Ciclo Combinado consta de los siguientes pasos (Guías de Termoeléctricas, 2014).:

- I. Se inyecta aire a presión, a través de un Compresor, el cual interviene en la combustión del gas en la cámara de combustión.
- II. En la cámara de combustión los gases son conducidos a la turbina de gas, donde se expanden y su energía calorífica se convierte en energía mecánica. Esta expansión acciona el generador de energía eléctrica.

- III. Luego los gases que salen de la turbina de gas son conducidos a una caldera de recuperación de calor, para evaporar agua. A partir de este momento se tienen un ciclo de agua-vapor convencional.
- IV. Los vapores del agua son conducidos a una segunda turbina, y al salir de ella, el vapor de agua pasa a estado líquido y vuelve nuevamente a la caldera de recuperación, para ser reutilizada en un nuevo ciclo de producción de vapor.

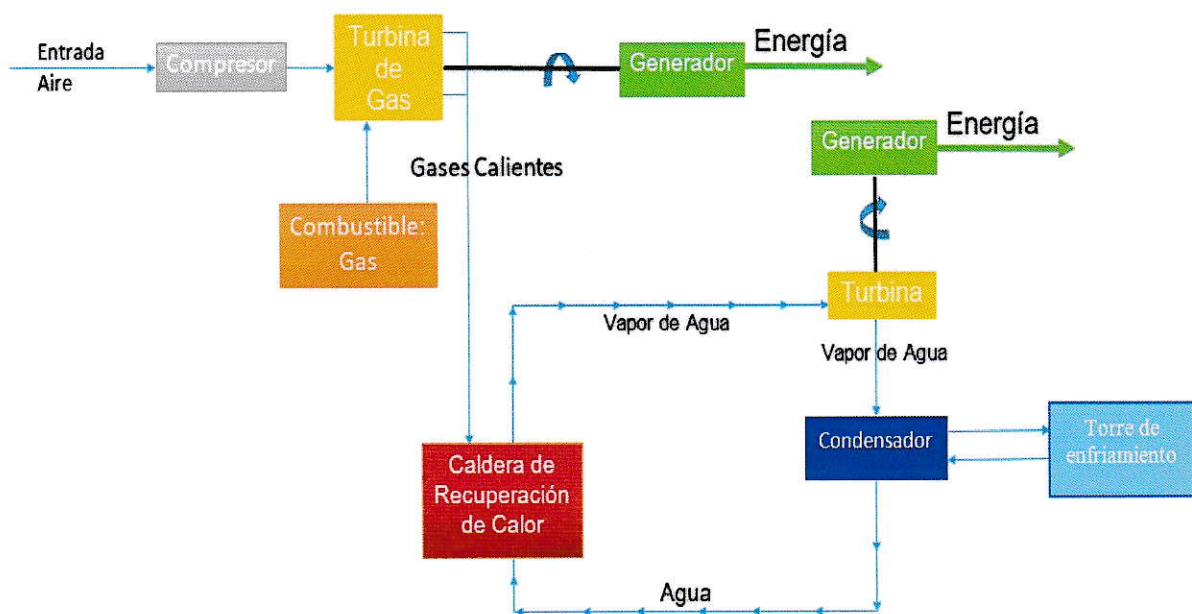


Figura 6. Esquema del funcionamiento de una Central Energética de Ciclo Combinado con Turbina de Gas. (Elaboración propia).

4.2.4. Emisiones Centrales Termoeléctricas de Ciclo convencional y CCGT

Las emisiones generadas por las CCGT al igual que las centrales de ciclo convencional tienen con principales emisiones el dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) y gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), pero entre las diferentes

centrales existen diferencias entre algunos contaminantes que emiten como también en la cantidad que emiten por contaminante (ver tabla 13).

Tabla 13. Emisiones generadas por las centrales de Ciclo convencional y CCGT declaradas en el RETC.

	CCGT	Carbón	Derivado de Petróleo
Benceno (Kg/año)	30,000	0,115	0,034
Compuestos Orgánicos Volátiles (T/año)	0,190	23,210	12,510
Dióxido de azufre (SO₂) (T/año)	3,160	9.719,075	10,250
Dióxido de carbono (CO₂) (T/año)	0,010	247.051,740	75.037,515
Mercurio (T/año)	0,080	0,130	0,000
Monóxido de carbono (CO) (T/año)	3,580	1.146,790	34,040
MP10 (T/año)	18,490	179,005	42,145
Nitrógeno amoniacal (o NH₃) (T/año)	0,270	621,775	0,275
Material particulado (T/año)	22,820	819,810	11,075
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano (g/año)	0,010	0,020	0,015
Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F) (g/año)	0,000	0,290	0,000
MP2,5 (T/año)	1,290	248,010	1,335
NO_x (T/año)	151,520	6.834,745	196,320
Total emisiones (T/año)	201,440	266.644,290	75.345,495

4.3. Condiciones de Funcionamiento de una Central CCGT en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

4.3.1. Sobre las emisiones de MP10, NO_x y SO_x

A través de los datos entregados en el RETC por las diferentes centrales CCGT que se encuentran en operación a lo largo del país, se puede realizar un análisis comparativo entre estos datos y los límites establecidos por el D.S. N°15. De esta

manera se puede ver que los actuales datos de emisiones están por sobre los límites entregados en el D.S. N°15, tanto para MP10 y NO_x (ver tabla 14).

Tabla 14. Comparación entre el límite para la compensación de emisiones v/s las emisiones del proyecto.

	Límite para compensar (T/año)	Emisión Total CCGT (T/año)	Emisión a Compensar (T/año)	% respecto del límite a compensar
MP10	5,00	18,49	13,49	269,80
SO_x	30,00	3,16	0	0
NO_x	15,00	151,52	136,52	910,133

Así como requisito de funcionamiento de una central CCGT debería establecer un plan de medidas de compensación con plazos de realización y propuesta de seguimiento junto con los cálculos de la disminución de la concentración de ese contaminante (MP10 y NO_x), en caso de decidir instalarse en alguna zona del área definida por el PDA del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4.3.2. Sobre los gases CO, COV y NH₃

En base a la información declarada por las empresas CCGT en el RETC, se puede ver que estas generaran emisiones de gases del tipo CO, COV y NH₃. De esta manera según lo establecido por el D.S. N°15 del 2013, se deberá realizar los cálculos de las concentraciones de CO, COV y NH₃ y tendrán que ser informados junto con los cálculos de emisiones de los contaminantes MP10, NO_x y SO_x.

4.4. Medidas de Compensación a adoptar por una central CCGT

Las Centrales CCGT deben implementar medidas de compensación para los contaminantes MP10 y NO_x, estas medidas deben realizarse en torno a las actividades que más contribuyen al aumento de estos contaminantes, ya que la

empresa generara un aumento en la concentración de ellos, por lo que deberá generar acciones que contrarresten lo que emitirán.

4.4.1. Medidas de compensación para emisiones de MP10 y NO_x

Dentro de las medias que una CCGT puede adoptar para realizar la compensación de emisión de MP10 y NO_x en la Región de O'Higgins están:

- Reemplazo de formas de calefacción y de cocinas.
- Evitar las quemas agrícolas.
- Acondicionamiento de caminos Rurales
- Chatarrización de vehículos livianos y pesados.

4.4.1.1. Reemplazo de calefacción y cocinas

Esta medida tiene como objetivo disminuir las emisiones de MP10 generadas por los actuales sistemas de calefacción del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Consiste en cambiar los actuales sistemas de calefacción y de cocinas de la población, que usan leña, por sistemas más modernos y que generen menor cantidad de emisiones. Los sistemas de calefacción a leña se reemplazarían por sistemas de calefacción eléctricos, como radiadores eléctricos, y los sistemas de cocina se cambiarían por sistemas de cocina a gas.

Los radiadores eléctricos son sistemas limpios en los que no existe combustión, humos, residuos ni olores. También su rendimiento es muy eficiente, por lo que se aprovecha prácticamente toda la energía eléctrica que se consume. No requiere de instalaciones complicadas ni espacios dedicados a las mismas, tales como sala de calderas, depósito de combustible, chimeneas, etc.

Las cocinas a gas son más eficientes, necesitan menos mantenimiento y generan menos olores y humos que las cocina a leña.

De esta manera el proyecto que decida instalarse en el área del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins debería invertir en los cambios de estos sistemas, y también explicar los beneficios que le generaran a la población por sobre sus actuales sistemas de calefacción y de cocinas.

4.4.1.2. Evitar las quemas agrícolas

Esta medida tiene como objetivo enseñar a la población a dar un uso eficiente a los rastrojos producidos en los sectores agrícolas, de esta manera se busca evitar las emisiones de MP10 y NO_x generadas por la quema de estos materiales y evitar posibles incendios forestales por el mal control que se pueda dar en estas quemas.

Consiste en implementar un plan de educación y proveer a los sectores agrícolas de los materiales que sean necesarios para que puedan realizar el uso eficiente de los rastrojos, como por ejemplo su utilización para generar compostaje o generar energías renovables a partir de biomasa.

La generación de compostaje si bien es un proceso, es más bien lento, pudiendo durar en algunos casos sobre un año, tiene bajo costo de implementación. La cantidad de compost que se puede generar depende de la cantidad de residuos orgánicos, de la superficie a utilizar.

Dentro de las alternativas de compostaje más convenientes para los agricultores de subsistencia, pequeños y medianos productores, está el compostaje por volteo siempre que se cuente con un espacio significativo en el predio.

La generación de energías renovables a partir de biomasa, logrado a través de la descomposición biológica de los desechos. Esta técnica consiste en mezclar residuos

animales y/o vegetales con agua, los que se dejan herméticos en un gran recipiente llamado digestor. El biogás generado puede utilizarse para la generación de energía que alimente sistemas eléctricos, para calefacción de casas o incluso en instalaciones agrícolas como invernaderos. Así dentro de esta medida se deben acondicionar lugares especiales para realizar el biogás y las líneas eléctricas correspondientes para los usos energéticos que servirá este combustible.

4.4.1.3. Acondicionamiento de Caminos Rurales

Esta medida tiene como objetivo evitar el levantamiento de polvo por acción del paso de vehículos por caminos no pavimentados y así disminuir las emisiones de MP10, también a esta medida se suma el valor de mantener el paisaje.

Consiste en la aplicación de materiales que permiten mantener cohesionados los componentes del suelo, ya sea por reacciones químicas y/o por mantener a estos permanentemente húmedos. Esto evita la liberación de polvo al paso de los vehículos. Este tipo de material, como por ejemplo el cloruro de sodio (sal) y el cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita), se ha aplicado masivamente en la zona norte del país, formando parte de una serie de medidas generadas por el programa “Caminos básico 5000” creado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y llevado a cabo entre el año 2003 y el año 2006, cuyo objetivo fue aplicar mejoras en superficies de caminos no pavimentados, para disminuir las emisiones de polvo (Caminos básicos 5000, 2003).

La bischofita es un estabilizador químico y agente de control de polvo para caminos no pavimentados, es producido en forma 100% natural (Araya, 2010).

Su método de funcionamiento mediante la alta higroscopicidad, permite atraer y retener humedad, evitando la pérdida de partículas finas del suelo y controlando la emisión de polvo (Araya, 2010).

Su utilización para su perfecto acabado debe ser siempre diluido en agua en forma de solución líquida, pudiendo emplearse como estabilizador de carpetas de rodado (mezcla homogénea con el material del camino en todo el espesor de la carpeta) o agente de control de polvo (riego sobre la superficie del camino; Araya, 2010).

Actualmente, se utiliza en zonas áridas donde la probabilidad de precipitaciones es casi nula y se está aplicando en zonas como Pucón en épocas de verano donde existe un aumento vehicular, aumento en la temperatura y la disminución en las precipitaciones provocando que los caminos no pavimentados contribuyan al aumento de polvo (Anticono, 2012).

De esta manera esta medida se deberá aplicar en caminos rurales, semirurales y caminos que se utilicen para llegar a la zona donde se emplace el proyecto dentro del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, en la temporada de primavera-verano, esto en base a que actualmente las temporadas secas y de altas temperaturas son más extensas en la zona central de Chile, generando que estos caminos contribuyan más al aumento de MP, de esta manera la medida deberá realizarse desde el inicio de la construcción hasta el cierre de la Central.

La estabilización con bischofita disminuiría aproximadamente 90% las emisiones de polvo generadas por el paso de vehículos en zonas no pavimentadas (CENMA, 2011).

De esta manera si un vehículo liviano pasa por un sector no pavimentado de 320 Km, este genera una emisión de aproximadamente 36 Kg/año de MP10, al agregar bischofita a los caminos las emisiones generadas por un vehículo liviano se reducirán a 3,6 Kg/año de MP10.

4.4.1.4. Chatarrización de Vehículos livianos y pesados

Esta medida tiene como objetivo retirar de la circulación de las calles vehículos livianos y pesados antiguos y reemplazarlos con vehículos nuevos de similares características y que generen menos emisiones especialmente de NO_x.

Consiste en chatarrizar cierto número de vehículos livianos y pesados que actualmente se encuentren en circulación en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins que el modelo sea del año 2006 o anteriores, o con más de 250.000 Km recorridos.

El reciclaje y reutilización de componentes de vehículos a chatarrizar se limitará a las partes no relacionadas a emisiones del automóvil, las cuales corresponden a la batería, plásticos, aceites, neumáticos, etc.

Luego de la recepción de vehículos a chatarrizar la empresa deberá encargarse que los reemplazos se realicen por vehículos que cuenten con los certificados de emisiones correspondientes y que efectivamente generen menor cantidad de emisiones que el los entregado a chatarrizar.

Actualmente, esta medida se está utilizando en la Región Metropolitana en donde existe un programa que explica a las empresas como realizar la chatarrización de los vehículos; como realizar el cálculo de las emisiones que se están disminuyendo y los pasos a seguir para certificar todo el proceso (Cifuentes, 2009).

Para el cálculo de las emisiones reducidas por los vehículos livianos y pesados se tomaron las ecuaciones y los datos entregados por el Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana (Cifuentes, 2009), de esta manera se tienen las siguientes ecuaciones:

$$RedEmTotal_i = \sum_{t=t_0}^{\infty} \{DA_{i,t} \times p_i(t/t_0) \times (FE_{i,t} + FE_{Renov,t})\} - Em_{rec} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$N_i = \int_{t=t_0}^{\infty} p_i(t/t_0) \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$RedEmAnual_i = \frac{RedEmTotal_i}{N_i} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Las cuales corresponden a:

- $RedEmTotal_i$: corresponde a la reducción de emisiones totales producto de la chatarrización del vehículo i
- $RedEmAnual_i$: Reducción de emisiones anual producto de la chatarrización del vehículo i.
- N_i : Esperanza de vida útil del vehículo i.
- $DA_{i,t}$: Distancia recorrida anualmente por el vehículo i, dependiente de su antigüedad al año t.
- $p_i(t/t_0)$: Probabilidad de que el vehículo i esté en circulación en el año t, dado que está en circulación en el año t0.
- $FE_{i,t}$: Factor de emisión dependiente de la antigüedad del vehículo i al año t.
- $FE_{Renov,t}$: Factor de emisión del vehículo de reemplazo del vehículo i dependiente de su antigüedad i.
- $EmRec$: Emisiones del proceso de reciclaje.

Primero para poder utilizar estas ecuaciones es necesario tener en cuenta los siguientes supuestos:

- El cambio se realizará entre vehículos del mismo tipo, por ejemplo, si se chatarrizar un vehículo liviano tipo 1 (ver Anexo 2: Clasificación de Vehículos) el nuevo vehículo a adquirir debe ser un vehículo liviano tipo 1.

- El cambio de vehículos se realizará actualizando las normas bajo las que se rigen los vehículos en Chile, por ejemplo, si se desea chatarrizar un vehículo año 2004 el cual fue construido bajo las condiciones impuestas por la norma EURO II, idealmente se espera que el vehículo que se adquiriera haya sido construido bajo las condiciones impuestas por la norma EURO III por ejemplo un vehículo año 2007.

Bajo estos supuestos y utilizando los datos entregados por el Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana (ver Anexo 2) se obtendrá que:

- Para el Vehículo liviano tipo 1:

$$DA_{i,t} = 946.000 \text{ (Km)}$$

$$p_i(t/t_0) = 0,4460533$$

$$FE_{i,t} = 20,4 \left(\frac{g}{Km} \right) = 2,04E^{-5} \left(\frac{T}{Km} \right)$$

$$FE_{Renov,t} = 10 \left(\frac{g}{Km} \right) = 1,0E^{-5} \left(\frac{T}{Km} \right)$$

$$Em_{rec} = 1,898 E^{-3} \text{ (T)}$$

$$N_i = 6 \text{ (año)}$$

$$RedEmTotal_i = 0,155 \text{ (T)}$$

$$RedEmAnual_i = 2,59 E^{-2} \left(\frac{T}{Año} \right)$$

- Para el Vehículo pesado:

$$DA_{i,t} = 220.000 \text{ (Km)}$$

$$p_i(t/t_0) = 0,64949382$$

$$FE_{i,t} = 0,668 \left(\frac{g}{Km} \right) = 6,68E^{-7} \left(\frac{T}{Km} \right)$$

$$FE_{Renov,t} = 0,421 \left(\frac{g}{Km} \right) = 4,21E^{-7} \left(\frac{T}{Km} \right)$$

$$Em_{rec} = 2,09 E^{-4} (T)$$

$$N_i = 8 (\text{año})$$

$$RedEmTotal_i = 12,8 (T)$$

$$RedEmAnual_i = 1,6 \left(\frac{T}{\text{año}} \right)$$

5. Discusión

5.1. Plan de Descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins

En la actualidad varias zonas de Chile se encuentran con problemas de contaminación atmosférica preocupantes, debido a lo cual, estas zonas han sido declaradas como zonas saturadas o latentes ya que superan los límites de concentración de gases y material particulado establecidas en las normas para cada contaminante. Es por esto que se han elaborado e implementado diversos planes de descontaminación, los cuales tienen por objetivo mejorar la calidad del aire en cada zona, adaptándose a las características particulares de cada una de éstas.

Una de estas zonas saturadas es el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins por lo que se ha elaborado e implementado un Plan de Descontaminación Atmosférica con el objeto de disminuir la concentración de los contaminantes que han generado la situación de saturación. Si bien este plan cuenta con varias restricciones para las principales fuentes emisoras de contaminantes en el Valle y también impone restricciones para nuevas fuentes, tiene ciertos puntos en los que no es claro. Dentro de esto se puede destacar: la revisión del inventario de emisiones (cada 5 años), la frecuencia y objetivo de la fiscalización de los servicios públicos, entre otros. También se debería poner mayor énfasis en las restricciones que impone el plan para nuevas fuentes y para las fuentes antiguas que sean modificadas.

Según el Plan, este revisara la situación del Valle Central cada 5 años, mismo plazo definido para realizar un nuevo inventario de emisiones. Se considera importante que en el inventario se agreguen las nuevas fuentes de emisión que han comenzado a operar año a año y que sea más claro con la información asociada a cada fuente emisora.

Sobre las restricciones que impone el PDA del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins es importante que con las nuevas fuentes de emisiones atmosféricas y las modificaciones que sufran las fuentes antiguas se sea más exigente sobre los datos de emisiones, es decir, actualmente el plan solo exige que se calculen los datos de las emisiones atmosféricas y se informen en las DIAs y en los EIAs tomando esos datos como la base para determinar las medidas de compensación correspondientes, pero también es importante que la información se entregue a los municipios correspondientes, para poder realizar comparación entre las emisiones calculadas y las emisiones reales, y a través de esta manera poder verificar si las medidas de compensación establecidas son las adecuadas o requeridas para cada proyecto. Dentro de este punto es importante que también se exija una revisión anual de la cantidad de emisiones que se reducen con las medidas de compensación establecidas por cada empresa y así poder tener un registro de las medidas más eficaces y también poder ver el cumplimiento de las empresas con lo establecido en sus estudios.

Por lo tanto, se estima que el PDA es una buena iniciativa, pero carece de algunos temas relevantes lo que genera incertidumbre a lo eficaz que pueda ser su implementación.

5.2. Análisis de la Comparación entre las termoeléctricas a carbón y Centrales de Ciclo Combinado con Turbina de Gas

Primero es importante destacar que las centrales termoeléctricas a diésel no fueron consideradas en el análisis comparativo ya que estas últimas solo se utilizan de respaldo y su funcionamiento en Chile está restringido, entre otros aspectos por el alto

costo monetario que produce el funcionamiento de estas centrales (boletín del mercado eléctrico, 2014).

Como resultado de la comparación de centrales termoeléctricas realizada (generación a carbón v/s gas, ver tabla 12), se puede señalar que una central CCGT tiene ventajas, ya que requieren menos tiempo de construcción por lo que las emisiones fugitivas generadas en esta fase serán menores, por otro lado en su etapa de operación el transporte de combustible es menos contaminante ya que el gas de una central CCGT se transporta por gasoductos mientras que el combustible de una central a carbón se realiza en camiones y/o barcos los cuales son fuentes que generan emisiones por si solas. Otro punto a destacar es la cantidad de agua necesaria en el proceso de generación destacándose nuevamente que una central CCGT consume un 2% de agua de lo que consume una central a carbón, dentro de los puntos más destacados se puede ver claramente que las CCGT son tecnologías más eficientes teniendo un rendimiento del 68% comparado con el 37% de una central a carbón, y las emisiones generadas son aproximadamente un 99% menores.

Si bien las centrales de ciclo combinado son la fuente contaminante que genera el menor impacto en el medio ambiente dentro de las termoeléctricas, cabe destacar que estas fuentes son precursores de Ozono troposférico ya que su combustible es Gas Natural por lo que las concentraciones de NO_x emitidas a la atmósfera son elevadas, pero menores a las que genera una central a carbón.

5.3. Medidas de Compensación

Para poder determinar los objetivos específicos que deben abordar las medias de compensación se utilizaron los datos de la tabla 14, en la cual se puede ver que una central CCGT genera emisiones relevantes de MP_{10} y NO_x sobre la situación base del

área donde se desarrolle ya que aumentaría estas, en el caso específico Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, en un 269,8% y 910,1% respectivamente. De acuerdo a lo anterior, las medidas de compensación se deberán centrar en esos contaminantes provocando que el aumento generado por las CCGT, sea efectivamente reducido por las medidas establecidas.

En base a lo anterior, a continuación, se analizan las 4 medidas de compensación, establecidas en el Capítulo 4.4., que se establecen como compromisos en general en los proyectos que emiten contaminantes como el MP10, NO_x y SO_x y por programas establecidos en Chile para mitigar la emisión de contaminantes.

Las dos primeras medidas están establecidas, en general, en los Planes de Descontaminación implementados en el Sur de Chile, y en particular en el PDA del Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Sin embargo, debido a que el plan dicta como plazo de revisión de las medidas un periodo de 5 años, por lo que la primera revisión de la calidad del aire se realizará en el año 2018, aún no se puede evaluar la eficacia de estas medidas. Sin perjuicio de lo anterior, es posible señalar que los términos en que está planteado su implementación y fiscalización deja muchos espacios a que la población decida si cumplir o no con las exigencias establecidas en el Plan.

Así, por ejemplo, en el PDA se propone cambiar los artefactos de calefacción domiciliar y de cocinas que funcionan en base a leña, realizando un programa de recambio de los artefactos antiguos, por artefactos más eficientes y que generen menos emisiones, sin embargo, no indica o detalla cómo se incentivará a la población a realizar tales cambios y por lo tanto es difícil estimar su real eficacia como medida.

De acuerdo a lo anterior se estima que sería recomendable implementar un cambio, no solo de los artefactos utilizados, sino que de los combustibles que se utilizan, es

decir, realizar un cambio de la calefacción de leña por calefacción eléctrica y en cocinas cambiar de leña a gas. Para esto, lo principal sería que las empresas (Centrales termoeléctricas) desarrollaran reuniones con la población realizando un catastro de donde y quienes podrán optar al recambio, también deberá encargarse de explicar los beneficios de que les traerá utilizar artefactos que no utilicen leña como principal combustible.

La siguiente medida establecida en el PDA de Región de O'Higgins se relaciona con el evitar las quemas agrícolas, que corresponden a la quema de rastrojos de los cultivos, prohibiendo en su totalidad la quema de estos, sin embargo se establecen alternativas complejas y no del todo claras para la comunidad, por lo que éstas o las empresas no tienen ningún incentivo para evitar las quemas agrícolas, actividad necesaria en este tipo de industria. También proponen realizar programas de incentivos para las prácticas agrícolas que contribuyan a la disminución de la contaminación, sin dar más información a la población.

De esta manera la medida analizada en este estudio busca incentivar la reutilización de los rastrojos ya sea realizando compostaje, generando energía a partir de biogás, por lo que se deberá informar, enseñar a la población y acondicionar los lugares para poder utilizar de mejor manera los rastrojos.

En las siguientes medidas, no contempladas en el PDA, se analizó la eficacia a partir de datos reales ya que actualmente se están implementando.

La medida de acondicionamiento de caminos rurales fue analizada a partir de la información contenida en los actuales planes de mitigación y compensación establecidos por diferentes proyectos que utilizan caminos rurales no pavimentados; y/o por los programas de crecimiento con equidad creado por el gobierno de Chile para las Regiones del Norte. En este sentido y según los datos entregados por las

diferentes empresas, existe entre un 85% y 95% de disminución en las emisiones de polvo resuspendido, cuando se utiliza bischofita, por lo que se puede ver que esta medida es bastante eficaz en el control de las emisiones de MP.

De esta manera, en general, se propone agregar capas de bischofita de no más de 15 cm en los sectores donde no existan calles pavimentadas a comienzos de la primavera ya que esto permite que se mantenga hasta el comienzo de la temporada de lluvia, el efecto, ya que la bischofita cuando es expuesta a una gran cantidad de agua se disuelve.

La última medida corresponde a la chatarrización de vehículos livianos y pesados, la que fue analizada a partir de la información entregada en el Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana. Según los resultados del programa, la cantidad de emisiones reducidas al chatarrizar un vehículo dependerá del tamaño este y de las características del vehículo a adquirir. De esta manera, como se puede ver en Capítulo 4.4.1.4., esta medida ayudaría a compensar rápidamente lo emitido por una central CCGT, por ejemplo, al chatarrizar un vehículo pesado (camión) del año 2004 que es reemplazado por un vehículo pesado del año 2007 reduciría las emisiones en 1,6 T por año de NO_x, por lo que se necesitaría alrededor 85 vehículo pesados anuales para poder compensar la cantidad de emisiones generadas por una CCGT. Así se puede ver que la chatarrización de vehículos livianos y pesados es una medida eficaz, pero que no está contemplada en los PDA.

6. Conclusiones

De acuerdo al análisis realizado, es posible señalar que, en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, a pesar de contar con PDA, es factible la implementación de una central de Ciclo Combinado con Turbina de Gas. Si bien el PDA restringe la cantidad de emisiones provocando que las empresas generen medidas de compensación por la cantidad de emisiones generadas, y la emisiones a compensar es por una CCGT generan un aumento en la situación base del valle de un 269,8% y 910,1% de MP10 y de NO_x respectivamente, existen medidas de compensación eficientes, que permitirían implementar un proyecto de estas características.

Dentro de las medidas de compensación analizadas el acondicionamiento de caminos no pavimentados con bischofita y la chatarrización de vehículos son medidas eficientes y factibles, que se pueden implementar en el Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Siendo el acondicionamiento de caminos no pavimentados con bischofita una medida que genera la disminución de aproximadamente un 90% de la emisiones de MP10 generadas por los caminos rurales y la chatarrización de vehículos livianos y pesados una medida que provoca una rápida compensación de emisiones de NO_x, esto ya que por cada vehículo chatarrizado se reduce entre 0,02 T y 1,6 T por año de este contaminante.

7. Referencias

- Anticona Bermúdez (2012). Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con cloruro de magnesio aplicación vía de acceso a Caral (Km05+000 – Km 15+000) (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Araya Díaz (2010). Análisis comparativo para ejecución de estabilización de suelos, entre procesos tradicionales y el estabilizador de suelos Soiltac (Tesis Pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.
- Banco Central de Chile. (2014). Cuentas nacionales de Chile. PIB Regional 2014.
- Centro Nacional del Medioambiente (2011). Diagnóstico de calidad de aire y medidas de descontaminación, Andacollo. Recuperado de: Diagnóstico de calidad de aire y medidas de descontaminación, Andacollo
- Centro Nacional del Medioambiente. Universidad de Chile. (2011). Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo. Unidad de Modelación y Gestión de la Calidad de Aire de CENMA. Santiago, Chile.
- Clean Air Institute. (2013). Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos. Clean Air Institute. EE.UU. Washington D.C. June 27, 2013.
- Cifuentes, L. (2009). Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana. Diseño de Metodologías de Compensación de Emisiones para Chatarrización de Fuentes Móviles. Informe Final.
- Cohen, B. y Hering, S., Air Sampling Instrument for Evaluation of Atmospheric Contaminants. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati, Ohio, 8th ed. (1995).

- Comisión Nacional de Energía (2014). Estadísticas. Recuperado de: <http://www.cne.cl/estadisticas/electricidad/>
- Douglas, K.A., Collins, J.L., Warren, C., Kann, L., GoldR., Clayton, S., Ross, J. G., y Kolbe, L. J. (1997). Results from the 1995 National College Health Risk Behavior Survey. *Journal of American College Health*, 46, 55-66
- División Ingeniería Química y Bioprocesos. Área Soluciones Ambientales. DICTUC. (2010). Diagnostico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región. *Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.*
- EULA-UDEC (2010). Consultoría medidas para el control de la contaminación por combustión residencial de leña. Centro Universitario Internacional de Europa-América Latina de la Investigación y Formación de Ciencias Ambientales-Universidad de Concepción. Informe. Concepción, Chile, 168 pp.
- Gas Natural Fenosa (2004). Ciclos combinados de gas natural: tecnología punta y desarrollo sostenible. Recuperado de: <http://www.gasnaturalfenosa.es/es/conocenos/compromiso+y+sostenibilidad/cambio+climatico/energias+responsables/1297101993224/ciclos+combinados.html>
- Generadoras de Chile A.G. (2014). Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación. Recuperado de: <http://www.revistaei.cl/wp-content/uploads/sites/5/2014/10/Bolet%C3%ADn-Sector-EI%C3%A9ctrico-October-2014.pdf>
- Generadoras de Chile A.G. (2015). Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación. Recuperado de: <http://generadoras.cl/wp-content/uploads/150908-Bolet%C3%ADn-AGG-Mercado-Elctrico-Sector-Generaci%C3%B3n-Septiembre-2015.pdf>

- Ministerio de Obras Públicas. Dirección de vialidad. (2003). Programa Caminos Básicos 5000. Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2011). Reporte 2005-2009 del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC. Departamento de Estadísticas e Información Ambiental, División de Estudios, Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente (2011). “Capítulo 1. Contaminación del Aire”. Informe del Estado del Medio Ambiente (p. 46–114). Santiago:
- Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Región de O’Higgins (2011) “Población”. Recopilado de:
http://www.ineohiggins.cl/contenido.aspx?id_contenido=13
- Ministerio del Medio Ambiente. (2012). Anteproyecto del Plan de Descontaminación del Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Planes Descontaminación Atmosférica. Estrategia: 2014-2018. *Gobierno de Chile*.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia; Comisión Nacional del Medio Ambiente (2009). Decreto Supremo N° 7. “Declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración anual y de 24 horas el Valle Central de la VI Región. Publicado en el Diario Oficial de la Republica, del 27 de Marzo de 2009. Chile
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia; Comisión Nacional del Medio Ambiente (2011) Decreto Supremo N° 12. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP 2,5. Publicado en el Diario Oficial de la Republica, del 9 de Mayo de 2011. Chile

- Ministerio Secretaria General de la Presidencia; Comisión Nacional del Medio Ambiente (2013) Decreto Supremo N° 15. Establece plan de descontaminación atmosférica para el Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Publicado en el Diario Oficial de la Republica, del 5 de Agosto de 2013. Chile.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia; Comisión Nacional del Medio Ambiente (1998) Decreto Supremo N° 59. Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia. Publicado en el Diario Oficial de la Republica, del 25 de Mayo de 1998. Chile.
- Ministerio de Minería (1992) Decreto N° 252. Aprueba plan de descontaminación del complejo industrial las ventanas propuesto conjuntamente por la empresa nacional de minería, fundición y refinería las ventanas y la planta termoeléctrica de Chilgener s.a., en los términos que se indican. Publicado en el Diario Oficial de la Republica, del 9 de Mayo de 1993. Chile.
- Morales, R.G.E., (2006), "Contaminación atmosférica urbana: Episodios Críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago". Santiago: Editorial Universitaria.
- Organización Mundial de la Salud (2014). Calidad del aire (exterior) y salud (2014)". Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Organización Mundial de la Salud (1991), Epidemiological, Social and Technical Aspects of Indoor Air Pollution from Biomass Fuel, Report of a WHO Consultation, Geneva: World Health Organization.
- Préndez, M. (1993), Características de los Contaminantes Atmosféricos. En Contaminación Atmosférica de Santiago, Estado Actual y Soluciones, eds. H.

Sandoval, M. Préndez y P. Ulriksen, pp.111-186. Cabo de Hornos, Santiago, Chile.

- Préndez M, Corvalán R.M. y Cisternas M (2007). Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana, Chile. Información Tecnológica. Vol 18(2), 93-103.
- Pope C., Dockery D.W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. J. Air & Waste Manage. Assoc. 56:709 –742.
- Servicio de evaluación ambiental (2015). “Proyectos”. Recuperado de: <http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyectoAction.php?modo=ficha&nombre=ciclo%20combinado§or=®iones=&presentacion=undefined&buscar=true>
- Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (2015) . “Documentación”. Disponible en: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/faq>
- Superintendencia del Medio Ambiente. (2014). Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas. Gobierno de Chile.

8. Anexos

8.1. Anexo 1: Artículo 33: “Compensación de Emisiones”, Decreto 15, 2013

- a) 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 que se presentan en la siguiente tabla, deberán compensar sus emisiones en un 120%.

Contaminante	Emisión Máxima (T/año)
MP10	5
SO _x	30
NO _x	15

En el caso de modificaciones de proyectos o actividades existentes, que deben someterse a evaluación de impacto ambiental, se entenderá que constituyen la situación base del proyecto o actividad, aquellas emisiones que se generen en forma previa a la vigencia del presente decreto.

- b) La compensación de emisiones será de un 120% del monto total anual de emisiones de la actividad o proyecto para el o los contaminantes para los cuales se sobrepasa el valor indicado 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 del nuevo proyecto o actividad.
- c) Los proyectos o actividades y sus modificaciones al ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental deberán presentar la estimación de sus emisiones de contaminantes a la atmósfera, la metodología utilizada y un anexo con la memoria de cálculo. En el caso que se superen los límites de la tabla

anterior, el titular de proyecto o actividad deberá presentar dentro del plazo que se establezca en la respectiva resolución que califique ambientalmente favorable el proyecto, el que en todo caso no podrá ser superior a un año contado desde la notificación de la misma, un Programa de Compensación de Emisiones. Dicho programa será presentado a la Seremi del Medio Ambiente, y deberá contar con los siguientes contenidos mínimos:

- i) Las medidas de compensación que se proponen, y el cronograma que grafique el periodo de tiempo o plazo en que se harán efectivas.
 - ii) La base de cálculo de la reducción de emisiones asociada a las medidas de compensación
 - iii) Una propuesta de programa de seguimiento que contemple un mecanismo de verificación.
- d) Las medidas de compensación deberán reunir las siguientes características:
- ii) Efectivas, de manera que la medida de compensación permita cuantificar la reducción de las emisiones que se produzca a consecuencia de ella.
 - iii) Equivalentes en términos de emisiones de MP10, NO_x y SO_x, según el caso.
 - iv) Adicionales, es decir, que la medida propuesta no responda a otras obligaciones a que esté sujeto quien genera la rebaja, o bien, que no corresponda a una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o por particulares.
 - v) Permanentes, esto es, que la rebaja permanezca por el período en que el proyecto o actividad está obligado a reducir emisiones.
- e) Los proyectos evaluados que sean aprobados con exigencias de compensación de emisiones, sólo podrán dar inicio a sus actividades al contar con la

aprobación del respectivo Plan de Compensación de Emisiones por parte de la Seremi del Medio Ambiente.

- f) Una vez publicado el presente decreto en el Diario Oficial, todos aquellos proyectos habitacionales, incluidas sus modificaciones, que ingresen al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que contemplen sistemas de calefacción alternativos a la leña y que aseguren menores emisiones de contaminantes a la atmósfera, no deberán compensar sus emisiones de MP10. Asimismo, no deberán compensar sus emisiones de MP10 si las viviendas, en razón de su diseño y materialidad, no requieren sistemas de calefacción.
- g) Respecto de los contaminantes CO, COV y NH₃, todos aquellos proyectos o actividades nuevas y/o modificación de aquellos existentes que se sometan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, deberán calcular e informar las emisiones de estos contaminantes. Transcurridos doce meses desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, la Seremi del Medio Ambiente publicará en la página web del Ministerio del Medio Ambiente un manual que oriente a los titulares de proyectos ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en la elaboración del programa de compensación de emisiones.

8.2. Anexo 2: Datos para los cálculos de las reducciones de emisiones de Chatarrización de vehículos

8.2.1. Clasificación de vehículos

Para realizar este análisis lo primero que se realizó es una clasificación de vehículos, según peso, tipo de uso y tipo de combustible, obteniéndose las siguientes categorías:

- Vehículos livianos tipo 1: corresponde a vehículos con un pesaje aproximado de 2,2 T, son utilizados por personas naturales y como combustible utilizan gasolina, ejemplo de estos tipos de vehículos son: Nissan v16, Peugeot 206, Audi a3, etc.
- Vehículos livianos tipo 2: corresponde a vehículos con un pesaje aproximado de 2,2 T, son utilizados por personas naturales y como combustible utilizan diésel, ejemplo de estos tipos de vehículos son: camionetas familiares como la Hyundai Santa Fe, y camionetas 4X4 como la Nissan Terrano.
- Vehículos livianos tipo 3: corresponde a vehículos con un pesaje aproximado de 2,2 T, son utilizados por empresas para el transporte de personas o cargas pequeñas y como combustible utilizan gasolina, ejemplo de estos tipos de vehículos son: colectivos taxis siendo los vehículos más utilizados el Nissan V16, Chevrolet Optra, etc.
- Vehículos livianos tipo 4: corresponde a vehículos con un pesaje aproximado de 2,2 T, son utilizados por empresas para el transporte de personas o cargas pequeñas y como combustible utilizan diésel, ejemplo de estos tipos de vehículos son: la camioneta Peugeot Partner, las camionetas mineras Mitsubishi L-200.
- Vehículos livianos tipo 5: corresponde a vehículos con un pesaje aproximado de 5,5 T, son utilizados por empresas para el transporte de personas o cargas y

como combustible utilizan diésel, ejemplo de estos tipos de vehículos son: los camiones Mitsubishi Canter, camiones Jac 1060.

- Vehículos medianos: corresponde a vehículos con un pesaje aproximado de 12 T, son utilizados por empresas para el transporte de personas o cargas y como combustible utilizan diésel, ejemplo de estos tipos de vehículos son: camiones Renault Midlum 220 DXI con acoplado, Jac HFC1134KR1 con acoplado.
- vehículos pesados: corresponde a vehículos con un pesaje mayor a 20 T, son utilizados por empresas para el transporte de personas o cargas y como combustible utilizan diésel, ejemplo de estos tipos de vehículos son: los camiones Volvo FMX con acoplado, y Volvo FH con acoplado.

8.2.2. Distancia Recorrida por los vehículos

Para determinar la distancia recorrida ($DA_{i,t}$) se debe multiplicar la distancia recorrida por cada año del vehículo y las cantidad de años del vehículo. Así las distancias recorridas por cada año por las distintas categorías son:

- Para los vehículos livianos tipo 1 y 2 recorren aproximadamente 20.000 Km por año.
- Para los vehículos livianos tipo 3 y 4 recorren aproximadamente 30.000 Km por año.
- Para los vehículos livianos tipo 5 recorren aproximadamente 63.000 Km por año.
- Para los vehículos medianos recorren aproximadamente 46.000 Km por año.
- Para los vehículos pesados recorren aproximadamente 86.000 Km por año.

8.2.3. Probabilidad de vida de un vehículo

La probabilidad de vida de un vehículo está dada por las siguientes ecuaciones:

- Para vehículos livianos tipo 1 y 2:

$$\varphi(k) = e^{\left[-\left(\frac{k+b_1}{T}\right)^{b_1} \right]}$$

Las cuales corresponde a $b_1=3,49039$ y $T=18,43489$.

- Para vehículos livianos tipo 1 y 2:

$$\varphi(k) = e^{\left[-\left(\frac{k+b_1 e^{b_2 k}}{T}\right)^{(b_1 e^{b_2 k})} \right]}$$

Las cuales corresponden a $b_1=3,49856$, $b_2=-0.02497$ y $T=15,33555$.

- Para vehículos livianos tipo 5, medianos y pesados:

$$\varphi(k) = e^{\left[-\left(\frac{k+b_1 e^{b_2 k}}{T}\right)^{(b_1 e^{b_2 k})} \right]}$$

Las cuales corresponden a $b_1=2.931193$, $b_2=-0,01669$ y $T=17,38097$

8.2.4. Factor de emisión para los vehículos

Los factores de emisión (FE) para los Vehículos Tipo 1, 2, 3 y 4 fueron obtenidos de los modelos utilizado en el Programa Piloto para el Sistema de compensaciones de la Región Metropolitana (Cifuentes, 2009). Para ello se tienen las siguientes ecuaciones:

- Para vehículos livianos tipo 1 y 3 se tiene:

$$FE = \frac{(a + c \times V + e \times V^2)}{(1 + b \times V + d \times V^2)}$$

Las cuales corresponden a:

Tabla 15. Datos para cálculos de emisiones para vehículos livianos tipo 1 y 3.

Norma	a	b	c	D	e	V (Km/h)
Euro 1	5,25E-01	0	-1,00E-02	0	9,36E-02	60
Euro 2	2,84E-01	-2,34E-02	-8,69E-03	4,43E-04	1,14E-04	60
Euro 3	9,29E-02	-1,22E-02	-1,50E-03	3,97E-05	6,53E-06	60
Euro 4	1,06E-01	0	-1,58E-03	0	7,10E-06	60

- Para vehículos livianos tipo 2 y 4:

$$FE = \frac{(a + c \times V + e \times V^2)}{(1 + b \times V + d \times V^2)} + \frac{f}{V}$$

Las cuales corresponden a:

Tabla 16. Datos para cálculos de emisiones para vehículos livianos tipo 2 y 4.

Norma	a	b	c	D	e	f	V (Km/h)
Euro 1	3,00E+00	1,41E-01	6,18E-03	-5,03E-04	4,22E-04	0	60
Euro 2	2,40E+00	7,67E-02	-1,16E-02	-5,00E-04	1,20E-04	0	60
Euro 3	2,82E+00	1,98E-01	-6,69E-02	-1,43E-03	-4,52E-04	0	60
Euro 4	1,11E+00	0,00E+00	-2,02E-02	0,00E+00	1,48E-04	0	60

Los FE de los Vehículos livianos tipo 5, medianos y pesados, se obtuvieron de metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos (Clean Air Institute, 2013), de esta manera se tiene:

Tabla 17. Factores de emisión de para los para vehículos livianos tipo 5, vehículos medianos y vehículos pesados.

Tipo Vehículo	Norma	FE (g/Km)
Vehículos livianos tipo 5	Sin norma Euro	1,67
	Euro I y II	1,64
	Euro III y IV	1,64
	Euro V	0,26
Medianos	Sin norma Euro	15,33
	Euro I y II	15.01
	Euro III y IV	9.20
	Euro V	4,41
Pesados	Sin norma Euro	23,8
	Euro I y II	20.40
	Euro III y IV	10
	Euro V	7

Para estos casos es importante señalar que en Chile las normas Euro están desfasadas con los años de implementación de Europa por lo que para qué año corresponden los distintos tipos de Vehículos cada norma EURO (ver tabla 18)

Tabla 18. Asignación norma-año de las Normas EURO para los distintos tipos de Vehículos en Chile.

Tipo vehículo	Norma	Año inicio	Año Fin
TIPO 5, Medianos y Pesados	Sin Norma	1980	1993
	EURO I	1994	1997
	EURO II	1998	2005
	EURO III	2006	2009
	EURO IV	2010	2014
Tipo 2 y 3	Sin Norma	1980	1992
	EURO I	1993	1998
	EURO II	1999	2003
	EURO III	2004	2004
	EURO IV	2005	2010
Tipo 1 y 3	Sin Norma	1980	1993
	EURO I	1994	1997
	EURO II	1998	2005
	EURO III	2006	2009
	EURO IV	2010	2014
	EURO V	2014	ACTUAL

8.2.5. Emisiones generadas en el proceso de reciclajes de un vehículo

Para el cálculo de las emisiones que se generan en el proceso de reciclaje del vehículo (EM_{Rec}) se analizó información de Gerdau Aza y de la NAEI. La Tabla 17 muestra las toneladas de materias primas que Gerdau Aza procesó entre los años 2003 y 2006.

Tabla 19. Cantidad de chatarra reciclada por la empresa Gerdau Aza entre los años 2003 y 2006.

Año	Consumo de chatarra (T/año)
2003	337.010
2004	339.591
2005	447.569
2006	492.069

Las emisiones generadas por estos procesos se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Emisiones generadas por la empresa Gerdau Aza entre los años 2003 y 2006.

Año	NO _x	MP
2003	71,6	43,9
2004	80	53,8
2005	82,3	56
2006	46,7	25,9

Para poder determinar cuántas toneladas corresponden a las emisiones generadas en el proceso de reciclaje del auto va a depender del tipo de vehículo, dentro de esto se asumirá que las toneladas recicladas corresponderán al vehículo que se esté analizando así se tiene:

Tabla 21. Emisiones generadas por la chatarrización de los distintos tipos de vehículos.

Año	EM _{Rec} para Vehículos livianos 1, 2, 3 y 4 (T/año)	EM _{Rec} para Vehículos livianos 5 (T/año)	EM _{Rec} para Vehículos medianos (T/año)	EM _{Rec} para Vehículos pesados (T/año)
2003	4,67E-04	1,17E-03	2,55E-03	4,25E-03
2004	5,19E-04	1,30E-03	2,83E-03	4,71E-03
2005	4,05E-04	1,01E-03	2,21E-03	3,68E-03
2006	2,09E-04	5,22E-04	1,14E-03	2,00E-03

8.2.6. Esperanza de vida útil del vehículo

Para calcular la reducción de emisiones anuales, se requiere el valor de vida útil que le restan al vehículo (N). Este valor se calcula como el área bajo la curva de supervivencia dado que el vehículo se encuentra vivo al año t0. Por ejemplo, para el caso de un vehículo liviano particular de 20 años de antigüedad el área bajo la curva de la Figura 7 representa la esperanza de su vida útil, que en este caso es 2,8 años.

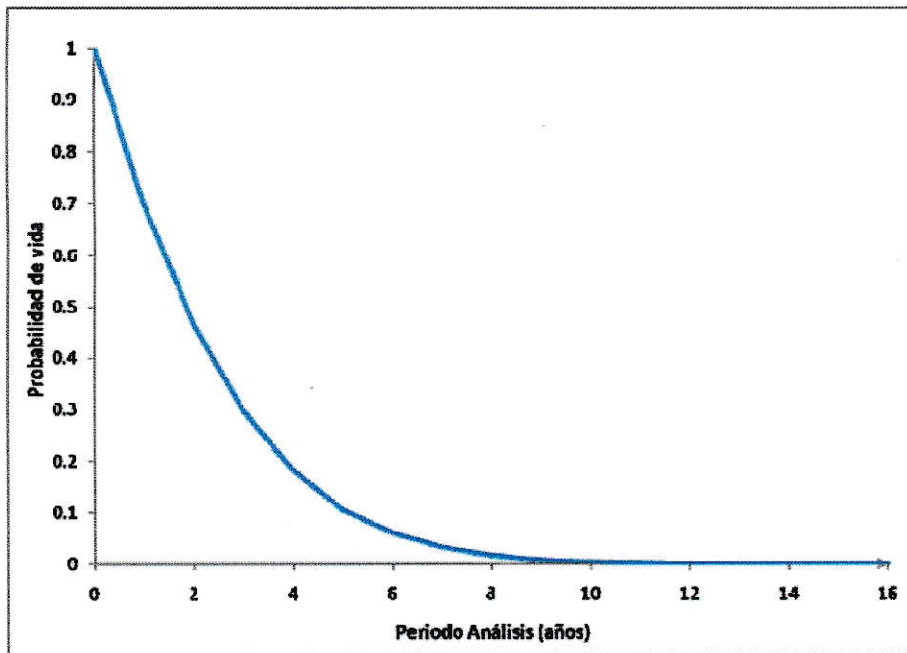


Figura 7. Probabilidad de vida de un vehículo liviano particular de 20 años de antigüedad, dado que está vivo en $t_0=0$ (Elaboración de Cifuentes, 2009).

Los valores de esperanza de vida útil se presentan según tipo de vehículo, asignado anteriormente, obteniéndose la tabla 20, asumiéndose que el año de análisis (t_0) corresponde a 2015.

Tabla 22. Esperanza de vida útil para los diferentes tipos de vehículos.

Año de fabricación	N_i de Vehículos livianos 1,2,3 y 4 (año)	N_i de Vehículos livianos 5, medianos y pesados (año)
<1986	2	6
1986-1991	2	7
1992-1996	3	7
1997-2001	4	8
2002-2006	6	8