



000155



ACTUALIZACIÓN INVENTARIO DE EMISIONES PARA LA ZONA SATURADA DE COYHAIQUE

2017

Equipo de la SEREMI de Medio Ambiente de Aysén:

Jimena Silva Huerta

Miguel Angel Rodriguez Lucero

Ignacio Carrasco Pinuer

Equipo de la División de Calidad del Aire:

Marianne Meyer Bulos

Nancy Manríquez Donoso

Resumen Ejecutivo	3
1. Antecedentes Generales	4
2. Desarrollo del inventario de emisiones	5
2.1 Emisiones residenciales	5
2.1.1 Antecedentes	5
2.1.2 Metodología de cálculo de emisiones	6
2.1.3 Estimación de emisiones	7
2.2 Emisiones Fuentes fijas (calderas)	8
2.2.1 Antecedentes	8
2.2.2 Metodología de cálculo de emisiones	9
2.2.3 Estimación de emisiones	9
2.3 Emisiones del sector transporte	10
2.3.1 Antecedentes	10
2.3.2 Metodología de cálculo de emisiones	10
2.3.3 Estimación de emisiones	11
2.4 Emisiones de quemas agrícolas y forestales	12
2.4.1 Antecedentes	12
2.4.2 Metodología de cálculo de emisiones	13
2.4.3 Estimación de emisiones	13
2.5 Emisiones totales en la comuna de Coyhaique	14
3. Conclusiones	15
4. Bibliografía	17
ANEXOS	18

Resumen Ejecutivo

Coyhaique es la ciudad que registra los niveles más altos de contaminación atmosférica por material particulado respirable en Chile, siendo la principal fuente la combustión residencial a leña.

Desde el año 2003 se comenzó una campaña de monitoreo de material particulado en 2 puntos de la ciudad. Estas mediciones fueron complementadas el 2007 cuando se instaló la primera estación de monitoreo continuo en la ciudad, entregando valores horarios cercanos a 900 microgramos por metro cubico normal.

Para conocer el aporte de cada una de las fuentes, se elaboró el primer inventario de emisiones para Coyhaique, desarrollado por Enviromodeling el año 2009, donde se concluye que el 94% de emisiones de material particulado proviene de las propias viviendas por el uso masivo de leña para calefacción y cocción de alimentos.

El año 2012 se declaró a Coyhaique como zona saturada por material particulado MP10 y se inició la elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) por MP10, el cual entró en vigencia el 28 de marzo de 2016 (D.S. N° 46/2015).

Dentro de las medidas del PDA, en el artículo 67 se señala que *"La Seremi del Medio Ambiente, actualizará el inventario de emisiones de los principales contaminantes atmosféricos de la zona saturada"*. Con el propósito de cumplir con esta medida y considerando con fecha 30 de agosto de 2016 se declara a Coyhaique zona saturada por MP2,5 (publicación en el Diario Oficial del D.S 15 del 30 de mayo 2016) , se hace necesario realizar la actualización del inventario de emisiones de la zona saturada de Coyhaique .

1. Antecedentes Generales

La comuna de Coyhaique es la capital de la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y el centro más importante de servicios profesionales, administrativos y financieros. El sector comercio es el más importante dentro de las ocupaciones de la comuna con un 17,46%, seguido del sector Administración Pública y Defensa con un 12,88%, en tercer lugar se encuentra el sector Construcción con un 11,89% y finalmente el sector de Agricultura, ganadería, caza y silvicultura con una representación del 11,03% de las ocupaciones de la comuna.

En relación a sus antecedentes demográficos, la comuna de Coyhaique, según la última actualización de población 2002-2012, desarrollada por el INE¹, posee una población para el año 2016 cercana de 61.081 habitantes.

Desde un punto de vista residencial, Coyhaique cuenta con sectores segregados, siendo la parte alta de la ciudad una zona densamente poblada, con viviendas sociales emplazadas en un sitio de 120 m² en promedio y con una construcción de 60 m² en forma aproximada. Esto se contrasta con las zonas más antiguas de Coyhaique, donde aún quedan viviendas que cuentan con espacios de 600 a 800 m² de sitio para la construcción de viviendas.

Según el censo 2002, el 91% de las viviendas en Coyhaique corresponde a casas, el 3% corresponde a departamentos en edificios y un 4% corresponde a mediaguas, el 1% corresponde a piezas en casa antigua o conventillo y también un 1% corresponde a viviendas colectivas.

Según estudio de CREARA (2010), el 63% de las viviendas en Coyhaique corresponden a viviendas aisladas (no pareadas), un 29% corresponde a casas pareadas, un 6% corresponde a casas en fila y un 2% a departamentos. Respecto de la falta de aislación en las viviendas, se señala en dicho estudio que el 65% de las viviendas en Coyhaique no cuenta con aislación térmica, porque fueron construidas antes del año 2000, año en comiienza la reglamentación térmica para techumbre. Del año 2000 al 2007, la construcción de viviendas en Coyhaique corresponde al 28% y después del 2007, donde se complementa la reglamentación incluyendo la envolvente de la vivienda, se cuenta con un 7% de viviendas construidas.

Cabe mencionar que debido a las bajas temperaturas presentes casi todo el año, el uso de la calefacción es indispensable para desarrollar actividades dentro de los recintos, ya sea en viviendas, establecimientos, servicios, locales comerciales y oficinas.

Respecto de los artefactos a leña, a través del estudio "Caracterización de artefactos de calefacción residencial" realizado por MORI 2015, se estima que en Coyhaique existen alrededor de 34.455 artefactos a leña, tanto para calefacción como para cocción de alimentos. Ante esto y considerando que según el precenso 2016 en Coyhaique existen 23.670 viviendas, se concluye que existen 1,5 artefactos de leña por vivienda.

¹ <http://www.ine.cl/>. Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020. Base de Datos.

- **Clima**

El clima de Coyhaique se caracteriza por ser templado frío, de bajas temperaturas, alta pluviometría, fuertes vientos y elevada humedad relativa, presentando una temperatura promedio anual de 9,5° C y precipitaciones promedio de 1.097 mm al año.

Durante el año se presentan marcadas diferencias de temperatura mostrando en el verano variaciones de entre 18 y 21 °C, alcanzando valores máximos con extremas absolutas de 32 °C; mientras en invierno las temperaturas varían entre 8 y -0,7 °C, con máximas de extremas absolutas que alcanzan los -22° C. Precisamente, estas temperaturas presentes durante al menos 10 meses del año, generan el intensivo uso de calefacción residencial en la ciudad.

Respecto a la frecuencia promedio en la dirección de los vientos y en relación al análisis de la rosa de los vientos para la ciudad de Coyhaique, el viento predominante es dirección WNW (oeste noreste), entre los meses de primavera y verano; disminuyendo la velocidad durante el invierno.

Esta situación genera durante los meses más fríos del año las condiciones menos propicias para la dispersión de los contaminantes, con períodos de ventilación desfavorable, fenómenos de inversión térmica y ocurrencia de graves episodios de contaminación.

2. Desarrollo del inventario de emisiones

2.1 Emisiones residenciales

2.1.1 Antecedentes

Las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña dependen de varios factores, siendo las causas más determinantes, la alta demanda energética de las viviendas, la humedad de la leña consumida, los equipos de combustión a leña ineficientes y las malas prácticas operativas por parte de los usuarios.

a. Consumo de leña

El alto consumo de leña en la comuna de Coyhaique, se sustenta básicamente en los bajos precios de este energético si se compara con otros combustibles destinados para calefacción y/o cocción, el fácil acceso y disponibilidad del recurso por la cercanía de los bosques, a lo que se suma el arraigo cultural de la población.

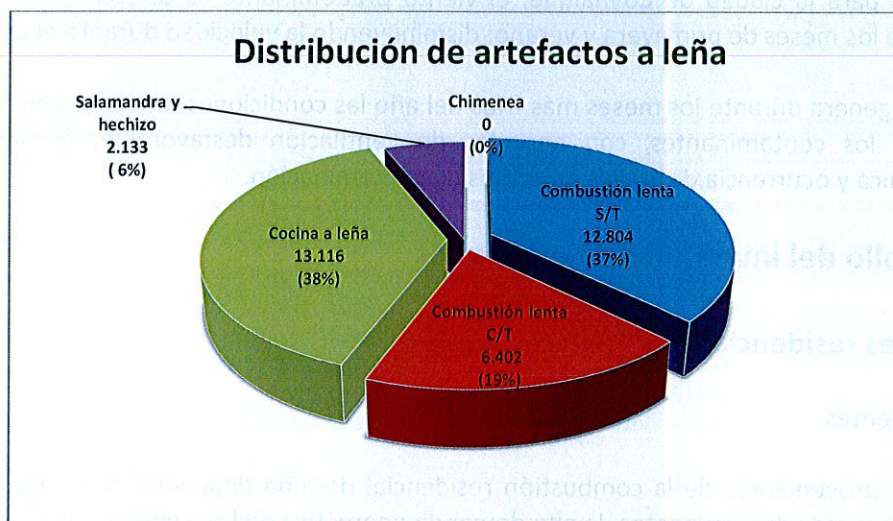
En Coyhaique, según el estudio de MORI, se estima que el 96% de las viviendas consumen leña como combustible para calefacción y/o cocción, existiendo un consumo promedio estimado por vivienda de 21,36 m³ estéreo/año. Considerando que el número de viviendas en Coyhaique, según datos del PRECENSO 2016, es de 23.670 viviendas, se estima un consumo total de leña para la comuna de Coyhaique de 485.368 m³ estéreo/año.

b. Distribución de artefactos a leña en el sector residencial.

En base al estudio de “Caracterización de artefactos de calefacción residencial” realizado por MORI 2015, se estima que en la comuna de Coyhaique existen alrededor de 34.455 artefactos que combustionan leña, es decir, que gran parte de las viviendas de la comuna poseen más de un artefacto a leña.

La mayor cantidad de artefactos corresponden a cocinas a leña con un 38% del parque total, seguido de un 37% correspondiente a calefactor de combustión lenta sin templador (S/T) y un 19% correspondientes a calefactor de combustión lenta con templador (C/T). El resto de artefactos corresponden salamandras o hechizos (ver Figura 1).

Figura 1. Distribución porcentual de artefactos a leña en la comuna de Coyhaique.



Dato: Se asume 0% de chimeneas por restricción establecida en el PDA de Coyhaique por MP10.

2.1.2 Metodología de cálculo de emisiones

La estimación de emisiones, se obtiene del producto entre los factores de emisión según tipo de artefacto (FE), los niveles de actividad (consumo de leña), la humedad de la leña y otros factores como la operación del artefacto (tiraje abierto, semi abierto o cerrado).

Para la estimación de emisiones se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_{total_{i,k}} = \sum (NA_k \times P \times FE_i) / 1.000.000$$

Dónde:

Etotal_{i,k} = Emisiones del contaminante “i”, para la comuna “k” (ton/año) .

NA_k = Nivel de actividad (consumo de leña) para la comuna “k” (kg/año)

P= Variable que caracteriza las condiciones en que se realiza la combustión (leña seca, leña humedad o condiciones de operación).

FE_i = Factor de emisión (gr/kg) según artefacto “i”.

Los factores de emisión (FE) utilizados corresponden a aquellos establecidos en el estudio de SICAM 2015 "Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de concepción metropolitana, año base 2013, Capítulo I" (ANEXO 1). En dicho estudio considera factores de emisión para ocho tipos de artefactos y para tres condiciones: uso de leña seca, uso de leña húmeda y mala operación de los artefactos.

Para determinar el consumo total de leña en Coyhaique (NA_k), se utilizó como insumo la información de presente en el precenso 2016 del INE y en el estudio de MORI 2015, denominado "Caracterización de artefactos de calefacción residencial para Coyhaique". Dicho consumo se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$NA_k = Viviendas_k \times \% \text{ viv. consumen leña}_k \times Consumo_k$$

Dónde:

NA_k = Nivel de actividad (consumo de leña) para la comuna "k" (kg/año)

$Viviendas_k$ = Número de viviendas en la comuna k (unidad)

$\% \text{ viv. consumen leña}_k$ = Porcentaje de viviendas que consumen leña en la comuna k (%)

$Consumo_k$ = Consumo promedio de leña por vivienda en la comuna k (kg/año)

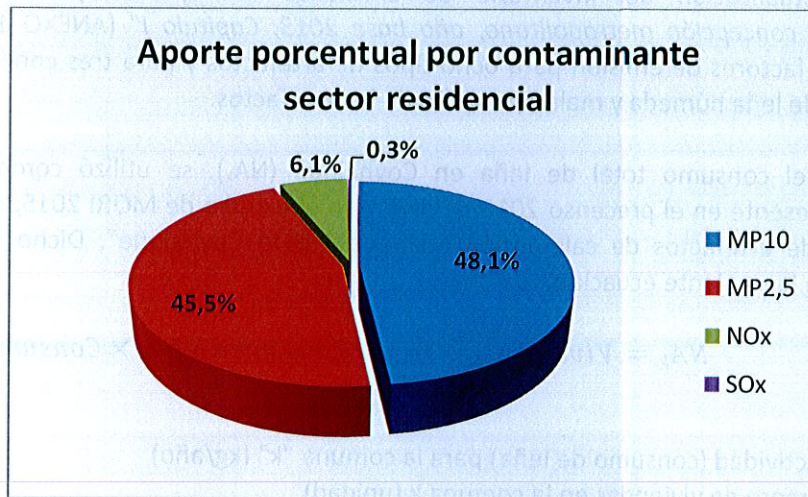
2.1.3 Estimación de emisiones

El inventario de emisiones del año 2009 estima para el sector residencial 7.184 ton/año de MP10 y 6.982 ton/año de MP2,5. Para el año 2015 las toneladas estimadas de emisiones para ambos contaminantes, corresponden a 6.614,3 ton/año y 6.250,7 ton/año respectivamente, tal como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Emisiones anuales sector residencial en la comuna de Coyhaique.

Tipo de Artefacto	MP ₁₀ (ton/año)	MP _{2,5} (ton/año)	NO _x (ton/año)	SO _x (ton/año)
Cámara Simple	2.740,6	2.551,0	354,8	8,2
Cámara Doble	1.014,9	944,1	118,9	0,1
Cocina a leña	2.488,3	2.322,6	327,8	24,4
Salamandra y hechizo	370,5	442,0	42,8	2,6
Chimenea	-	-	-	-
Total	6.614,3	6.259,7	844,3	35,3

Figura 2. . Distribución emisiones sector residencial, 2015



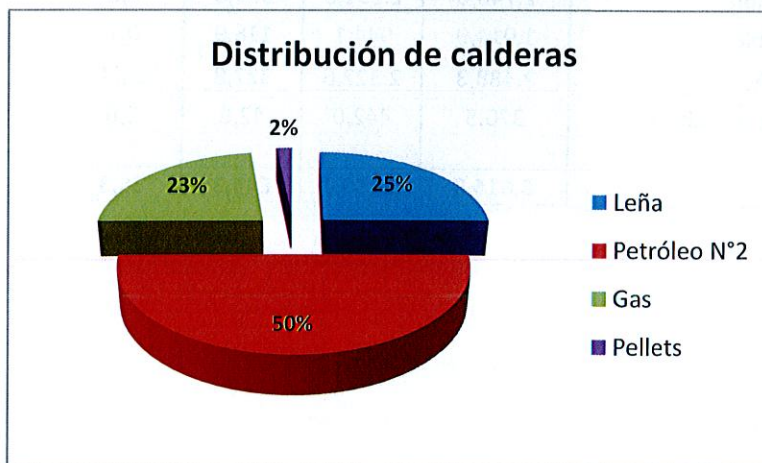
2.2 Emisiones Fuentes fijas (calderas)

2.2.1 Antecedentes

Los resultados mostrados sobre fuentes fijas en este inciso, usan como base la información obtenida a partir de las declaraciones que los titulares de fuentes fijas deben realizar de manera anual para dar cumplimiento a lo exigido en el D.S.138 del Ministerio de Salud, que en este caso corresponde a la declaración 2015, proporcionada por la SEREMI de Salud región de Aysén.

De acuerdo a las declaraciones analizadas, en la zona saturada existen 171 calderas en funcionamiento, de ellas, 50% corresponden a calderas que usan como combustible petróleo N°2, 25% usa leña, 23% utiliza gas licuado y un 2% pellets. Esta información se puede observar en la figura 3.

Figura 3. Distribución de calderas según combustible, 2015



Fuente: Elaboración propia en base a declaración D.S.138, MINSAL

2.2.2 Metodología de cálculo de emisiones

La metodología de cálculo se basa en el Factor de Emisión de la Caldera por el consumo de combustible, conforme a lo establecido en la "Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes", de la COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, MINISTERIO DE SALUD Y MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN SECTRA, EDICIÓN 2009.

La ecuación utilizada para estimación de emisiones de calderas:

$$E = FE * NA * \left(1 - \frac{EA}{100}\right)$$

Dónde:

E : Emisión (ton/año)

FE : Factor de emisión

NA : Nivel de actividad (consumo de combustible en litros o metros cúbicos estéreos)

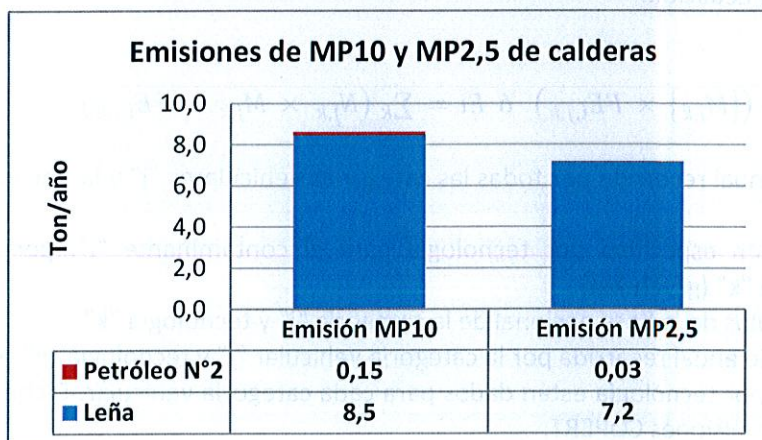
EA : Eficiencia de abatimiento de la tecnología de control de emisiones, de existir alguna.

2.2.3 Estimación de emisiones

Según los datos entregados por la SEREMI de Salud de la Región de Aysén, los segmentos de calderas a leña y petróleo son las que presentan las mayores emisiones de material particulado MP10 y MP2,5. En cuanto a las emisiones de las calderas a gas y pellets, no fueron consideradas en las figuras que se evidencian a continuación, por ser poco significativo su aporte al compararlo con el universo de calderas existentes en la zona saturada.

El aporte de este sector en las emisiones de MP10 y MP2,5, corresponden a 8,65 ton/año y 7,23 ton/año respectivamente, como se detalla en la Figura 4.

Figura 4. Emisiones de MP10 y MP2,5 de calderas, Coyhaique 2015(ton/año)



En lo referente a los gases precursores de MP2,5, no fueron estimadas las emisiones en calderas, ya que según las características del combustible utilizado por estas fuentes, en la zona saturada, las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) serían menores y tendrían una participación poco significativas en la formación de este contaminante.

2.3 Emisiones del sector transporte

2.3.1 Antecedentes

Según en el inventario de emisiones del año 2009, desarrollado por EnviroModeling, Coyhaique contaba con un parque vehicular de 11.885 vehículos, cantidad que ha ido en aumento en estos últimos 8 años, llegando a un incremento aproximado de un 60%. Ante esto el parque actual vehicular de la ciudad de Coyhaique, según el INE², corresponde a 20.139 vehículos.

Dicho incremento se debe a que en el año 2009, en la región de Aysén, se inició la extensión de zona franca de Punta Arenas, la cual ha aumentado la inserción de automóviles nuevos y usados a bajos precios, ya que el principal beneficio tributario es la exención de impuestos para las empresas, exención de Impuesto a la Renta de Primera Categoría (impuesto a las utilidades) por las rentas devengadas en Zona Franca, y de IVA por las ventas y servicios realizados por usuarios de Zona Franca.

Por otra parte cabe señalar, que según los últimos datos facilitados por el jefe de la Planta de Revisión Técnica de Coyhaique³, en entrevista con profesionales de la SEREMI del Medio Ambiente, solo por zona franca ingresan anualmente a Coyhaique aproximadamente 1.200 vehículos, a lo que se suman 480 vehículos que ingresan sin modalidad zona franca.

Cabe mencionar que según datos proporcionados en la Planta de Revisión Técnica de Coyhaique, existe una alta tasa de rechazo cercana al 50%, de los cuales aproximadamente el 70% es por incumplimiento en las normas de emisión de gases.

2.3.2 Metodología de cálculo de emisiones

La metodología de cálculo se basa en la distancia recorrida por cada categoría vehicular (nivel de actividad). Por lo tanto, para las distintas categorías vehiculares, se deben considerar estadísticas asociadas al número de vehículos, factores de emisión por tecnología y el kilometraje, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_i = \sum_k (\{M_{j,k}\} \times FE_{i,j,k}) \quad \text{ó} \quad E_i = \sum_k (N_{j,k} \times M_{j,k} \times FE_{i,j,k})$$

Dónde:

$\{M_{j,k}\}$ = Distancia total anual recorrida por todas las categorías vehiculares "j" y la tecnología "k" (km-veh).

$FE_{i,j,k}$ = Factor de emisión específico por tecnología para el contaminante "i", por categoría vehicular "j" y tecnología "k" (g/veh-km).

$N_{j,k}$ = Número de vehículos de la flota nacional de la categoría "j" y tecnología "k".

$M_{j,k}$ = Distancia promedio anual recorrida por la categoría vehicular "j" y tecnología "k" (km-veh).

Los factores de emisión por tecnología están dados para cada categoría vehicular. Dichos factores se obtienen del modelo emisiones COPERT.

² <http://www.ine.cl/>. Anuarios parques de vehículos en circulación 2015. Base de Datos.

³ Reunión con Jefe de Planta Francisco Montero fmontero@denham.cl

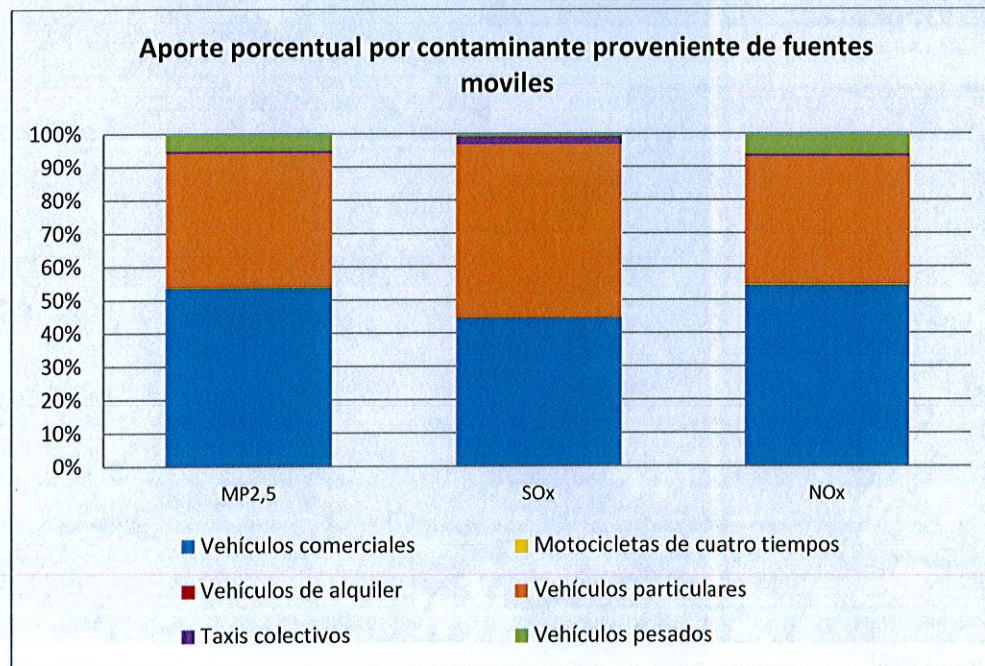
2.3.3 Estimación de emisiones

El inventario del año 2009 estima las emisiones de material particulado del sector transporte en 4,93 ton/año y de NO_x en 16,87 ton/año. El aumento del parque vehicular, llevó a un incremento de las emisiones estimadas durante el año 2009, llegando a 12,7 ton/año en MP_{2,5} y 158,6 ton/año en NO_x, tal como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Emisiones anuales sector transporte en la comuna de Coyhaique.

Categorías Vehiculares (SECTRA)	MP _{2,5} (ton/año)	SO _x (ton/año)	NO _x (ton/año)
Motocicletas de cuatro tiempos	0,05	0,00	0,71
Taxis colectivos	0,11	0,01	1,37
Vehículos comerciales	6,85	0,18	86,33
Vehículos de alquiler	0,01	0,00	0,19
Vehículos particulares	5,07	0,21	60,31
Vehículos pesados	0,63	0,00	9,71
Total	12,72	0,40	158,62

Figura 5. Emisiones de por contaminante y categoría vehicular



2.4 Emisiones de quemas agrícolas y forestales

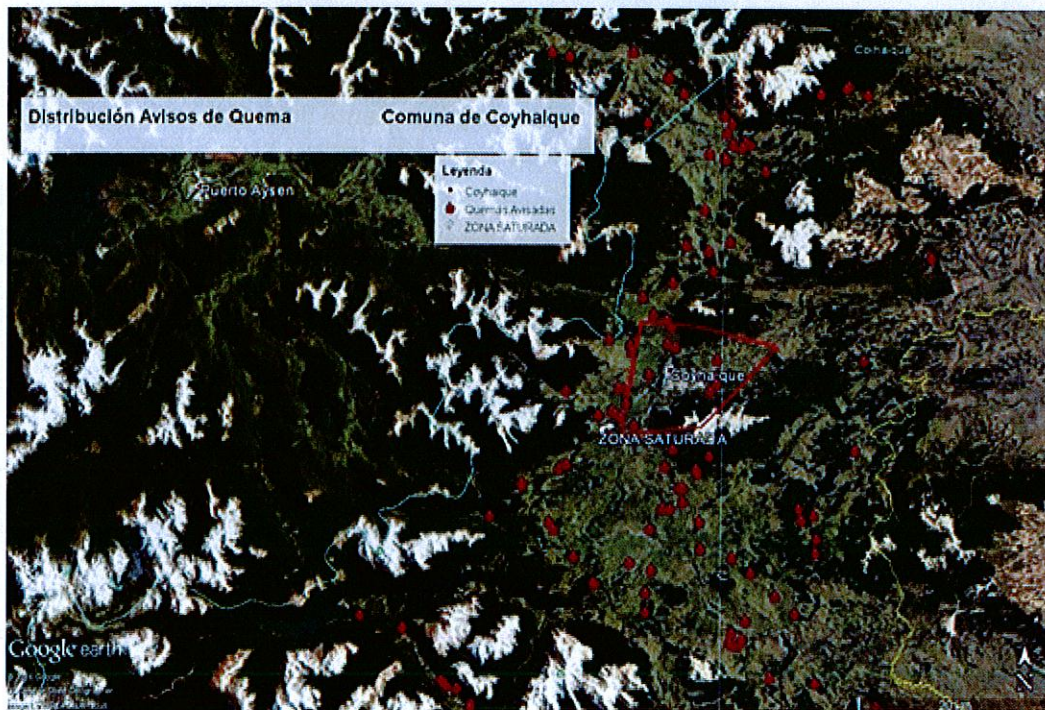
2.4.1 Antecedentes

Se considera en esta categoría a las quemas en las zonas agrícolas y forestales, que tienen como propósito la reducción del peligro de incendios forestales; preparación de campos previa siembra; control de plagas; limpieza o construcción de caminos, canales y cercos; mejoramiento de forraje para el ganado; manejo de plantaciones forestales control de especies consideradas perjudiciales; y mantención y/o construcción de corta fuegos, según los antecedentes proporcionado por CONAF.

CONAF al ser la entidad que autoriza el uso de fuego, mantiene un registro de quemas autorizadas, el cual entrega antecedentes como la ubicación, horario, tipo de quema y hectáreas intervenidas.

La Figura 6 presenta la distribución de los sectores donde se realizaron quemas agrícolas y forestales.

Figura 6. Quemas agrícolas y forestales autorizadas.



Fuente: CONAF.

El total de quemas autorizadas correspondieron a 186 quemas agrícolas, 19 forestales y 16 mixtas (838,14 hectáreas), de las cuales 16 se encontraban dentro de la zona saturada, cubriendo un total de 9,66 hectáreas. El detalle de las quemas se presenta en Tabla 3.

Tabla 3. Cantidad de quemas agrícolas y forestales autorizadas y hectáreas intervenidas en la zona saturada de la ciudad de Coyhaique

Tipo de quema		Total			
Agrícola (ha)	Mixto (ha)	N° avisos			Superficie (ha)
		Agrícola	Mixto	Total	
7,66	2	15	1	16	9,66

* Mixto: Agrícola y Forestal

Fuente: CONAF

2.4.2 Metodología de cálculo de emisiones

Para la estimación de emisiones de este sector, se utilizó la metodología de cálculo establecida en el estudio “Elaboración de Manual para Desarrollo de Inventarios”, desarrollado por el GreenLab UC en el año 2016.

Dicha metodología se basa en la propuesta de la Agencia Ambiental de California (CARB), la cual considera niveles de actividad, factores de emisión y de carga, según la siguiente ecuación:

$$E_k = \sum S_i \times FE_{i,k} \times FC_i$$

Dónde:

E_k = Emisiones del contaminante “k” [ton/año]

S_i = Nivel de actividad, expresado en superficie total quemada del tipo de suelo o cultivo “i” [ha/año]

$FE_{i,k}$ = Factor de emisión del tipo de suelo “i” para el contaminante “k” [ton/ton materia quemada]

FC_i = Factor de carga el tipo de suelo “i” [ton/ha]

Los datos de superficie total quemada fueron obtenidos del registro de quemas autorizadas llevado por CONAF Región de Aysén. En cuanto a los factores de emisión (FE) y factores de carga (FC), se utilizaron aquellos presentes en el manual CARB, esto según lo recomendado por el estudio de GreenLab UC 2016 (ANEXO 2). Se utilizó como supuesto, tanto para FE y FC, que las quemas agrícolas están destinadas principalmente para vegetación y las forestales a desechos de explotación de distintas variedades de pino.

2.4.3 Estimación de emisiones

El inventario de emisiones del año 2009, estima que las emisiones de MP2,5 provenientes de las quemas autorizadas llevadas a cabo dentro de toda la comuna de Coyhaique (346 hectáreas intervenidas), correspondían a 35,9 ton/año.

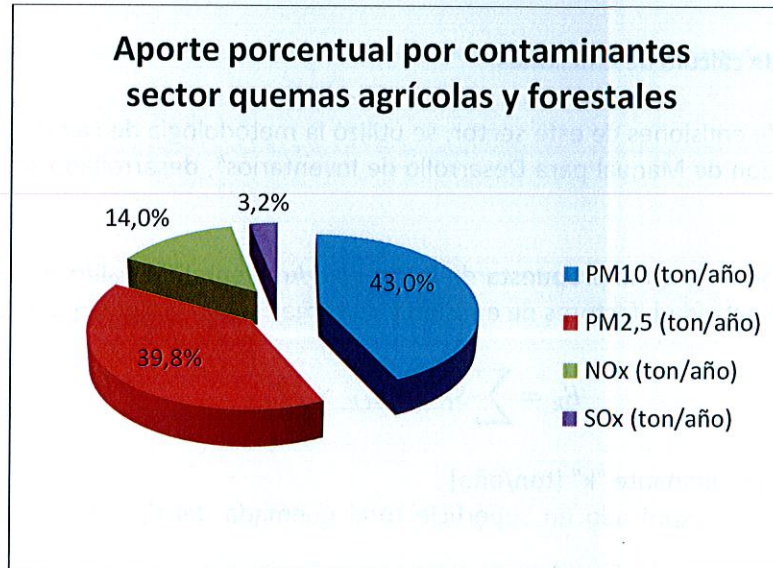
Por otro lado se estima que actualmente las emisiones de MP2,5 son 0,37 ton/año, las cuales provienen de las quemas agrícolas y forestales realizadas solo dentro de la zona saturada de la comuna de Coyhaique (9,6 hectáreas intervenidas).

En la Tabla 4 se muestra la distribución de emisiones de este sector.

Tabla 4. Emisiones anuales provenientes quemas agrícolas y/o forestales en zona saturada de comuna de Coyhaique.

Sector	PM10 (ton/año)	PM2,5 (ton/año)	NOx (ton/año)	SOx (ton/año)
Quemas agrícolas y forestales	0,40	0,37	0,13	0,03

Figura 7. Emisiones por contaminante provenientes de quemas agrícolas y forestales



2.5 Emisiones totales en la comuna de Coyhaique.

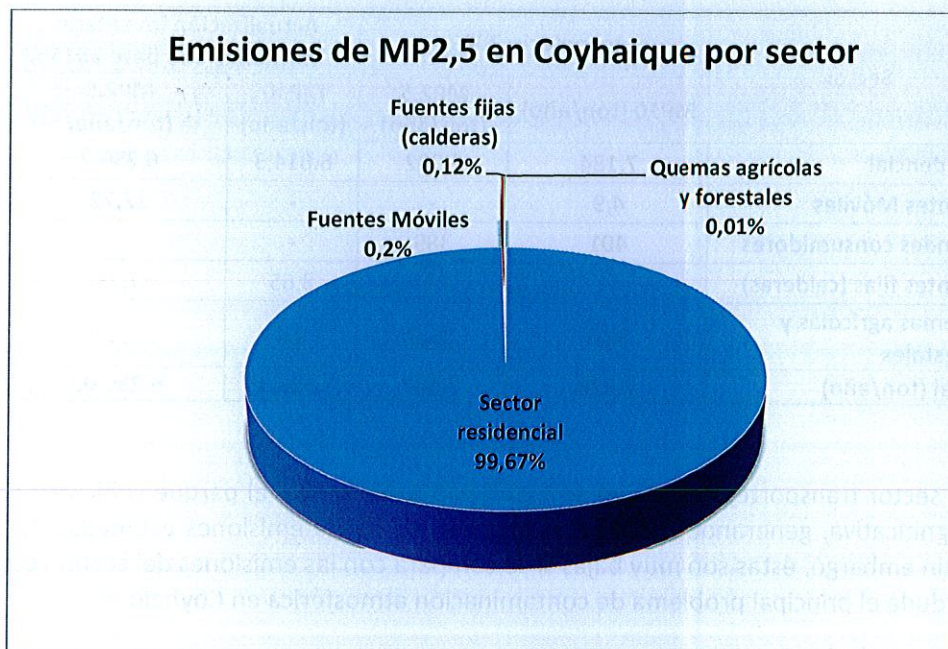
A continuación se presenta en Tabla 5, un resumen de las emisiones estimadas por sector para la comuna de Coyhaique.

Tabla 5. Estimación de Emisiones por sector (ton/año).

Sector	PM10 (ton/año)	PM2,5 (ton/año)	NOx (ton/año)	SOx (ton/año)
Sector residencial	6.614,3	6.259,7	844,3	35,3
Fuentes Móviles	-	12,72	158,61	0,40
Fuentes fijas (calderas)	8,65	7,23	-	-
Quemas agrícolas y forestales	0,40	0,37	0,13	0,03
Total (ton/año)	6.623,35	6.280,02	1.003,04	35,75

Respecto de las emisiones de MP2,5, podemos señalar que la principal fuente corresponde a las emisiones residenciales, con el 99,67% de contribución, seguido por fuentes móviles, fuentes fijas y quemas agrícolas – forestales que entre todas ellas llegan a un 0,33%, como se puede observar en la Figura 8 .

Figura 8. Distribución porcentual de emisiones de MP2,5 por sector



3. Conclusiones

La principal fuente de emisión de material particulado MP10 y MP2,5 en Coyhaique, corresponde a la combustión residencial de leña proveniente de las 23.670 viviendas que se encuentran en la ciudad. El aporte de MP2.5 del sector residencial es de 99,67 % y ello se debe a que el 96% de las viviendas utiliza leña para calefacción y/o cocción de alimentos.

Este último porcentaje ha permanecido casi sin variación, debido al alto consumo de leña producto de los bajos precios que esta tiene si se compara con otros combustibles. Cabe mencionar que aun cuando desde la SEREMI del Medio Ambiente se ejecuta el programa de recambio de calefactores, cuyo objetivo es cambiar los actuales artefactos a leña por sistemas de calefacción de menor emisión y en base a otro tipo de combustible, la penetración de combustibles más limpios como el pellets y el kerosene es aún incipiente.

En la Tabla 6, se presenta la comparación de las estimaciones de emisiones del año 2009 y el año 2015, en esta se puede observar que los niveles de emisión anuales de MP10 de Coyhaique sufrieron una baja desde 7.628 toneladas a 6.623 toneladas, lo cual es equivalente a un 9% de reducción. Lo mismo ocurre en el caso de MP2.5, donde la baja va desde 7.407 ton/año a 6.280 ton/año. Dichas diferencias se podrían deber a una disminución de las emisiones en el sector residencial, lo cual se puede atribuir, entre otros factores, a la utilización de factores de emisión más precisos, distinguiendo tecnologías, modos de operación y porcentaje de humedad en la leña utilizada como combustible en los diferentes artefactos que combustionan leña para calefacción.

Tabla 6. Estimación de emisiones 2009 vs 2015 por sector

Sector	Inventario 2009		Actualización inventario emisiones año base 2015	
	MP10 (ton/año)	MP2,5 (ton/año)	MP10 (ton/año)	MP2,5 (ton/año)
Residencial	7.184	6.982	6.614,3	6.259,7
Fuentes Móviles	4,9	-	-	12,72
Grandes consumidores	401	389	-	-
Fuentes fijas (calderas)	-	-	8,65	7,23
Quemas agrícolas y forestales	38,3	35,9	0,4	0,37
Total (ton/año)	7.628	7.407	6.623,35	6.280,02

Respecto al sector transporte, desde que se estableció zona franca, el parque vehicular aumentó en forma significativa, generando con ello un incremento de las emisiones estimadas durante el año 2009, sin embargo, éstas son muy bajas si se compara con las emisiones del sector residencial que son sin duda el principal problema de contaminación atmosférica en Coyhaique.

Cabe mencionar que no es posible establecer una comparación directa entre las categorías "Grandes Consumidores" del inventario 2009, con la categoría "Fuentes fijas (calderas)" del inventario 2015, debido a que la primera agrupó las emisiones generadas producto de la necesidad de calor a mayor escala que lo requerido por particulares, sin distinguir el tipo de equipo utilizado para esos fines. En el inventario 2015 se usaron categorías que permitieran distinguir el tipo de equipo donde ocurre la combustión, definiendo la clasificación "Fuentes fijas (calderas)", ya que se presume, el diseño de medidas del futuro Plan también hará esta distinción, lo que facilitará la evaluación de las reducciones e impactos en lo que se refiere al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para MP2,5.

En cuanto a las emisiones proveniente de quemas agrícolas y forestales se puede observar que existe un amplia diferencia entre ambos inventarios, la cual va desde 35,9 ton/ año a 0,37 ton/año, esto se atribuye a que el inventario del 2009 fueron consideradas las quemas agrícolas y forestales de toda la comuna. En cambio en la actualización del inventario solo se consideró las quemas realizadas la zona saturada, esto con el propósito de disminuir la sobre estimación de emisiones de este rubro.

4. Bibliografía

Caracterización de artefactos de calefacción residencial para Coyhaique.- MORI, febrero 2015

Análisis Energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña.- CREARA, diciembre 2013

Análisis de emisiones atmosféricas de Coyhaique.- EnviroModeling Ltda, agosto 2009
Evaluación Técnico - Económica de Alternativas a la Calefacción Residencial a Leña en Ciudades de la zona Centro-Sur de Chile.- Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial - Ana María Pereira Veloso, Octubre 2012.

Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena.- UNTEC, Mayo 2014.

Elaboración de Manual para Desarrollo de Inventario.-GreenLabUc, Diciembre 2016.

Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de concepción metropolitano, año base 2013, Capítulo I (ANEXO 1). SICAM, Abril 2015.

Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020. Base de Datos.
<http://www.ine.cl/>.

Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. CONAMA, Ministerio de Salud y Ministerio de Planificación SECTRA (2009). Disponible en;
http://www.mma.gob.cl/retc_ingles/1316/articles-51545_recurso_1.pdf

ANEXOS

ANEXO 1: FACTORES DE EMISIONES SECTOR RESIDENCIAL

F.E. de MP10 (g MP10/kg neto de leña)

Tipo de Artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Combustión lenta C/T	5,2	11,0	29,5
Combustión lenta S/T	6,2	11,8	45,8
Cocina a leña	7,5	13,9	33,8
Salamandra	12,7	28,5	-
Chimenea	10,1	28,5	-
Calefactor certificado	2,5	11,0	11,0
Nueva Tecnología	2,1	5,5	8,9
Calefactor a pellet	1,9	-	-

F.E. de MP2,5 (g MP2,5/kg neto de leña)

Tipo de Artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Combustión lenta C/T	4,9	10,2	27,5
Combustión lenta S/T	5,8	11,0	42,6
Cocina a leña	7,0	13,0	31,5
Salamandra	11,8	34,1	-
Chimenea	9,2	26,6	-
Calefactor certificado	2,3	10,2	10,2
Nueva Tecnología	2,0	5,1	8,2
Calefactor a pellet	1,8	-	-

F.E. de NOx (g NOx/kg neto de leña)

Tipo de Artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Combustión lenta C/T	1,9	2,0	2,0
Combustión lenta S/T	2,0	3,0	3,0
Cocina a leña	2,1	2,7	2,7
Salamandra	7,7	3,1	-
Chimenea	1,3	1,3	-
Calefactor certificado	1,9	2,0	5,3
Nueva Tecnología	1,9	2,0	5,3
Calefactor a pellet	1,9	-	-

F.E. de SOx (g SOx/kg neto de leña)

Tipo de Artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Combustión lenta C/T	0,1	0,0	0,0
Combustión lenta S/T	0,1	0,0	0,2
Cocina a leña	0,2	0,2	0,2
Salamandra	0,2	0,2	-
Chimenea	0,2	0,2	-
Calefactor certificado	0,1	0,0	0,0
Nueva Tecnología	0,1	0,0	0,0
Calefactor a pellet	0,1	-	-

F.E. de COVs (g COVs/kg neto de leña)

Tipo de Artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Combustión lenta C/T	26,5	84,1	241,2
Combustión lenta S/T	26,5	84,1	241,2
Cocina a leña	114,5	363,5	1.033,2
Salamandra	114,5	363,5	-
Chimenea	114,5	363,5	-
Calefactor certificado	26,5	84,1	241,2
Nueva Tecnología	26,5	84,1	241,2
Calefactor a pellet	26,5	-	-

F.E. de HAPs (g HAPs/kg neto de leña)

Tipo de Artefacto	Leña seca (Hd. b.s. < 25%)	Leña húmeda (Hd. b.s. > 25%)	Mala operación (leña seca y húmeda)
Combustión lenta C/T	0,3	14,6	14,6
Combustión lenta S/T	0,0	16,3	16,3
Cocina a leña	1,1	1,6	1,6
Salamandra	2,0	1,6	-
Chimenea	2,0	1,6	-
Calefactor certificado	0,3	14,6	14,6
Nueva Tecnología	0,3	14,6	14,6
Calefactor a pellet	0,3	-	-

000104 NTA

ANEXO 2: Factores de emisión: Quemadas Agrícolas y Forestales [ton/ton materia quemada]

Tipo Cultivo	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	SO ₂	COV	CO	NH ₃	Factor de carga (ton/ha)
Trigo	0,004808	0,004581	0,001950	0,000408	0,003447	0,056064	0,000886	4,7
Cebada	0,006435	0,00621	0,00230	0,000045	0,006750	0,082665	0,001317	4,2
Avena	0,009315	0,00887	0,00203	0,000270	0,004635	0,061200	0,000975	4,0
Maíz	0,005130	0,00491	0,00149	0,000180	0,002970	0,031905	0,000508	10,4
Otros cultivos	0,007618	0,007293	0,002065	0,000256	0,006149	0,053834	0,000851	5,4
Vegetación	0,007212	0,006886	0,002037	0,000277	0,004867	0,051687	0,000817	5,4
Ramas	0,005284	0,004491	0,003674	0,001134	-	0,037149	0,000363	1,9
Desechos de Explotación Pino, Eucaliptus y otras especies								6,5 ^(pino)
	0,008074	0,006849	0,003538	0,001089	-	0,071940	0,000726	5,4 ^{eucaliptus)}
								6,0 ^(otras)