

“ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS”

INFORME : FINAL

FECHA : 01 DE FEBRERO DE 2008

**“COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA”**

Página 1 de 1

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

1. Tipo Informe Informe técnico	2. Cuerpo del Informe 379 hojas (incluye portada)
3. Título del Proyecto "ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS"	4. Fecha Informe 01/02/2008
5. Autor (es) Jefe de Proyecto: Jaime Escobar M. Equipo de Trabajo: - Jaime Escobar (experto en inventarios de emisiones) - Héctor Jorquera (experto en validación de inventarios y modelación) - Juan Carlos Bordonos (especialista en emisiones de fuentes estacionarias) - Claudia Pfeng (especialista inventarios de fuentes móviles) - Rodrigo Palacios (especialista en inventarios de otras fuentes) - Maria José Tardón (Ayudante de inventario de emisiones) - Pía Daroch (especialista en sistemas de información ambiental) - Marco Miranda (analista de sistema) - Erick Oyaneder (especialista análisis estadístico) - ENDÉMICA (implementación encuesta de leña)	6. Contrato S/N del 22/08/2006
7. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul - Santiago	8. Período de Investigación S/F al 01/02/2008
9. Contraparte Técnica CONAMA Araucanía: Mauricio Lobos Beneventi Rocío Toro Rodríguez Eduardo Schleef Urrutia CONAMA Dirección Ejecutiva: Gabriela Céspedes Seremi de Salud Araucanía: Carolina Camelio Seremi de Transportes y Telecomunicaciones Araucanía: Paulina Espinoza Agradecimientos: Nelba Gaete, INIA Carillanca Francisco Vargas Municipalidad de Temuco Municipalidad de Padre Las Casas	10. Antecedentes de la Institución Mandante Nombre : Comisión Nacional del Medio Ambiente Región de la Araucanía. Dirección: Vicuña Mackenna 224, Temuco RUT: 72.443.600-5 Teléfono: 56-45-238200, 238211, 230274
11. Resumen El presente Informe, corresponde al Informe Final del Estudio: "Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en las Comunas de Temuco y Padre Las Casas", celebrado entre Comisión Nacional del Medio Ambiente Región de la Araucanía y DICTUC S.A.	

Sr. Hector Jorquera González
Jefe de Área Soluciones Ambientales

Sr. Jaime Retamal Pinto
Gerente General

Nota: "La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de Dictuc S.A."

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	Antecedentes generales	5
1.2	Objetivos	7
1.2.1	Objetivos Generales	7
1.2.2	Objetivos Específicos.....	7
1.3	Entendimiento de la situación	8
2	METODOLOGÍA	10
2.1	Enfoque Metodológico para Lograr el Cumplimiento de los Objetivos Planteados..	10
3	DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES.....	18
3.1	Fuentes Móviles en Ruta	18
3.1.1	Metodología general de cálculo de emisiones vehiculares	18
3.1.2	Metodologías específicas de cálculo de emisiones vehiculares	24
3.1.3	Factores de emisión de fuentes móviles en ruta	36
3.1.4	Emisiones de CO ₂ y SO ₂	48
3.1.5	Corrección de factores de emisión	48
3.1.6	Cálculo de emisiones.....	54
3.2	Fuentes Móviles fuera de Ruta.....	59
3.2.1	Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión	59
3.3	Fuentes Estacionarias	70
3.3.1	Combustión Residencial de GLP, Kerosene y Gas Propano.....	70
3.3.2	Combustión residencial de leña.....	72
3.3.3	Cigarrillos.....	126
3.4	Fuentes de Polvo Fugitivo.....	128
3.4.1	Construcción y Demolición.....	128
3.4.2	Polvo Resuspendido	132
3.4.3	Preparación de Terrenos Agrícolas	136
3.5	Fuentes Fijas.....	141
3.5.1	Antecedentes	141
3.5.2	Conclusiones revisión de antecedentes	144
3.5.3	Reporte de Actividades Campaña de Terreno Caracterización Industrial	146
3.4.4	Resultados Inventario Fuentes Estacionarias Puntuales 2005.....	150
4	ESCENARIOS DE EMISIÓN 2010 Y 2015.....	157
4.1	Identificación de medidas orientadas a la reducción de emisiones enmarcadas dentro del PDA	157
4.2	Proyección de emisiones 2010 y 2015	160
4.2.1	Fuentes móviles.....	160
4.2.2	Fuentes móviles fuera de Ruta	170

4.2.3	Quemas Agrícolas	171
4.2.4	Incendios Forestales	175
4.2.5	Otras fuentes Areales	176
4.2.6	Fuentes polvo fugitivo.....	186
4.2.7	Fuentes Fijas.....	194
5	RESUMEN DE RESULTADOS DE EMISIONES.....	202
5.1	Escenario 2005	204
5.2	Escenario 2010	207
5.2.1	Escenario 2010 Actual	207
5.2.2	Escenario 2010 Con Medidas PDA.....	208
	Escenario 2015	210
5.2.3	Escenario 2015 Actual	210
5.2.4	Escenario 2015 Con Medidas PDA.....	211
	Comparación de resultados distintos escenarios	213
5.2.5	Combustión residencial de leña.....	213
5.2.6	Quemas agrícolas	214
5.2.7	Fuentes móviles.....	214
5.2.8	Fuentes industriales	217
6	BIBLIOGRAFÍA.....	219
7	ANEXOS.....	221
	<i>ANEXO A. Diseño Encuesta de Terreno, Tipo 1.</i>	
	<i>ANEXO B. Diseño Encuesta de Terreno, Tipo 2.</i>	
	<i>ANEXO C. Resultados de encuesta de consumo de leña.</i>	
	<i>ANEXO D. Descripción de Categorías Vehiculares.</i>	
	<i>ANEXO E. Resumen de Inventario 2000 y comparación de resultados.</i>	
	<i>ANEXO F. Reporte de Inventario de Emisiones por Fuente, Escenarios 2005, 2010 y 2015.</i>	
	<i>ANEXO G. Análisis modelo receptor de Koutrakis y de Johansson & col.</i>	
	<i>ANEXO H. Resumen Ejecutivo Inventario de Emisiones.</i>	

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe Final del estudio “ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS” desarrollado por DICTUC S.A. para la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región de la Araucanía.

1.1 Antecedentes generales

Desde el año 1997 se realizan mediciones de calidad del aire en la ciudad de Temuco y Padre Las Casas, en una primera etapa (1997 al año 2000) correspondió a un monitoreo diagnóstico y desde mediados de 2000 a la fecha las mediciones han sido continuas con equipos oficiales. Los resultados del monitoreo permitieron dar cuenta de la superación de la Norma primaria de MP₁₀ establecida en el D.S. 59 del año 1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y declarar la ciudad de Temuco y Padre Las Casas como Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP₁₀, en marzo de 2005.

De acuerdo a la Ley 19.300, una vez que una zona es declarada saturada por la superación de algún contaminante normado, corresponde la elaboración de un Plan de Descontaminación Atmosférico (PDA). En el caso de Temuco y Padre Las Casas, dicho Plan deberá tener por objetivo disminuir las concentraciones de Material Particulado Respirable, de tal forma que no se supere la normativa vigente, requiriéndose para ello de la generación de una serie de antecedentes necesarios para orientar y priorizar las medidas que se incluyan en el Plan. Actualmente este instrumento se encuentra en elaboración.

De acuerdo al inventario realizado el año 2000 por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), la principal fuente de contaminación atmosférica corresponde a la combustión de leña para calefacción residencial y actividades económicas de diversa clase (calefacción de edificios de servicios, industrias, panaderías, etc.). Sin embargo, el Plan deberá abordar todas las fuentes presentes en el área, entre ellas las fuentes móviles, Industriales, residenciales y las quemas agrícolas.

El plan de descontaminación atmosférico es un instrumento de gestión ambiental contemplado en la Ley 19.300 de bases generales del medio ambiente y detallado en su reglamento técnico establecido en el D.S. N° 94 del año 1995. Este instrumento requiere una actualización permanente y un insumo básico para ello es saber como evolucionan las distintas fuentes emisoras a lo largo del tiempo. El primer inventario de emisiones para la ciudad de Temuco se realizó en el año 2000 por el CENMA, en el marco del proyecto “Segunda fase estudio de la calidad del aire en regiones Urbano-Industriales de Chile”, el cual incluye la emisión de Material Particulado (MP₁₀), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de Azufre (SO_x) y Amoníaco (NH₃). En el caso de calderas de calefacción a leña no fueron consideradas debido que en esa época no se contaba con un registro de calderas con información completa y actualizada. En el año 2004 y 2005, a través del estudio “Identificación de una relación entre las emisiones de fuentes de material

particulado y las concentraciones de material particulado respirable en las comunas de Temuco y Padre Las Casas”, elaborado por P. Sanhueza, se realizó una actualización de éste, tomando como año de referencia el 2004, el cual se considera año base para la elaboración del PDA.

Los distintos sectores de la sociedad evolucionan cada año, aumento del número de fuentes emisoras, modificación del tipo de fuente, tipo y cantidad de combustible, entre otras se traduce en un cambio en las magnitudes de las emisiones de los distintos contaminantes. A su vez también se mejora la información pudiendo establecer con mayor exactitud factores de emisión para las distintas fuentes contaminantes.

Considerando que la normativa que ampara estas acciones tienen por objetivo proteger la salud de las personas y que los efectos asociados al material particulado dependen, entre otros aspectos de su naturaleza y de los elementos que lo componen, se requiere de mejorar la información obtenida por los inventarios de emisiones actuales, dándole mayor certeza y calidad a sus resultados.

El inventario de emisiones es un instrumento de alta relevancia dentro de la gestión de calidad de aire ya que permite identificar quienes son los agentes contaminantes y evaluar la importancia y el impacto de cada una de las fuentes, así como permite evaluar en el largo plazo la eficacia de las medidas que se implementen en el marco del PDA. Además, es información indispensable para la modelación de la calidad del aire que permitirá establecer los límites geográficos y las zonas de mayor impacto de manera de hacer más eficiente la gestión de la calidad del aire en cualquiera de sus formas, así como también permitirá alimentar de información un modelo de pronóstico de calidad de aire que a su vez permite la gestión y manejo de episodios.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Contar con una actualización del inventario de emisiones atmosféricas de MP₁₀, MP_{2,5}, CO, NO_x y SO₂ para una base temporal correspondiente al año 2005 y una actualización de las metodologías empleadas que permitan proyectar las emisiones de MP₁₀ a los años 2010 y 2015, considerando escenarios conservador y optimista con las medidas propuestas en el marco de la formulación del PDA.

1.2.2 Objetivos Específicos

Objetivo 1:

Contar con una revisión de las metodologías para estimar emisiones de MP₁₀, MP_{2,5}, CO, NO_x, SO₂ utilizadas en el inventario de emisiones del año 2001 y seleccionar o proponer otras según corresponda para su actualización al año base 2005. Actualizarlas de acuerdo al estado del arte en el desarrollo de inventarios y recopilar los factores de emisión actualizados y disponibles, justificando claramente el uso de cada una de estos, metodología y factores de emisión, señalando el nivel de incertidumbre que tienen en su aplicación a la realidad local de Temuco y Padre Las Casas.

Objetivo 2:

Contar con una recopilación de los niveles de actividad disponibles para el año 2005 y actualización del inventario de emisiones para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, que incluya al menos las siguientes fuentes:

- Estacionarias puntuales: combustión y procesos.
- Estacionarias de área: en especial fuentes residenciales, comercial, quemas agrícolas, incendios forestales y biogénicas.
- Fuentes móviles en ruta, incluyendo transporte público y privado; y fuera de ruta (maquinaria agrícola, de construcción e industrial, aeropuerto, etc.)

El universo de fuentes emisoras que aportan a la fracción gruesa del material particulado (construcción, producción transporte y procesamiento de áridos, actividades agrícolas, polvo resuspendido desde calles pavimentadas y no pavimentadas, etc.)

Objetivo 3:

Contar con un diseño estadístico, e implementación de una encuesta sobre uso y consumo de leña en el sector residencial urbano y un análisis estadístico posterior de sus resultados, que permitan entre otros, validarse con la muestra de la encuesta realizada por VITAE el año 2001 (encargada por CENMA para estimar las emisiones), determinar el actual patrón y uso de la

Página 7 de 7

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

combustión residencial de leña en Temuco y Padre las Casas y actualizar la estimación de emisiones.

Objetivo 4:

Contar con una proyección del inventario de emisiones al año 2010 y 2015 a partir del inventario 2005, que considere la implementación de todas las medidas y estrategias de control de emisiones contempladas en el anteproyecto del PDA de Temuco y Padre Las Casas, acordadas previamente con la contraparte técnica de la consultoría.

Objetivo 5:

Generación de la documentación para ambos inventarios, poblamiento de las bases de datos de emisiones 2005 y 2010 de acuerdo a las necesidades del modelo de pronóstico y de acuerdo a los requerimientos que la contraparte técnica determine.

Objetivo 6:

Generación de una base de datos compatible con el sistema AIRVIRO, que a partir del año 2007 permitirá integrar y administrar el sistema de información de inventarios de emisiones en todo el país.

1.3 Entendimiento de la situación

El objetivo general del estudio es “Contar con una actualización del inventario de emisiones atmosféricas de MP₁₀, MP_{2,5}, CO, NO_x y SO₂ para una base temporal correspondiente al año 2005 y una actualización de las metodologías empleadas que permitan proyectar las emisiones de MP₁₀ a los años 2010 y 2015, considerando escenarios conservador y optimista con las medidas propuestas en el marco de la formulación del PDA”.

Según la experiencia adquirida por este equipo consultor, la mejor forma de hacerse cargo de la necesidad permanente de contar con información: útil, actualizada y de calidad, es disponer de una herramienta para modelar emisiones, más allá del inventario propiamente tal, que es sólo una “fotografía” del corte temporal en que se realizan los cálculos.

Disponer de una herramienta dinámica para la estimación de emisiones permite hacerse cargo adecuadamente de los siguientes requerimientos inherentes a la gestión de la calidad del aire en una zona saturada:

- **Estimación del aporte** de cada uno de los sectores a la contaminación por MP10/MP2.5 y otros contaminantes (NO_x, CO, COV's, SO_x y Ozono troposférico)

- **Evaluación de medidas de descontaminación.** Al menos en términos del costo/efectividad. Esto requiere necesariamente que las metodologías de estimación de emisiones contemplen la incorporación de los parámetros viables de ser modificados por las medidas que se puedan plantear.
- **Proyección de emisiones** para escenarios futuros / escenarios con medidas PDA
- **Modelación de dispersión de contaminantes**, que requiere inventarios complejos georreferenciados y temporalmente distribuidos.
- **Disponer de datos de entrada para los Modelos de Pronóstico** de Episodios de alta contaminación.

En tal sentido, un elemento clave para el éxito del presente estudio, es tener en mente los usos que se le dará a la información, de forma tal que el resultado del inventario sea coherente con tales usos. De esta forma estamos seguros que los productos finales del estudio, serán una herramienta útil para el difícil proceso de definición, evaluación y modelación de las estrategias de descontaminación que se incorporarán al PDA de Temuco-PLC.

Otro elemento central del presente estudio, es tener la **capacidad de concentrar los esfuerzos en caracterizar adecuadamente las fuentes de emisión más relevantes**, que en el caso de Temuco –PLC son a nuestro juicio las siguientes:

- Quema de biomasa:
 - Quema Residencial/Comercial de Leña
 - Quemadas agrícolas
 - Incendios Forestales
- Transporte:
 - Transporte de carga
 - Transporte público
 - Vehículos livianos
- Emisiones Industriales
- Emisiones de Polvo: Resuspendido por tráfico, actividades agrícolas, construcción, etc.

De todas las fuentes mencionadas, sin duda la más relevante y que por lo tanto está siendo abordada con el mayor énfasis, corresponde a las emisiones provenientes de la quema residencial de leña, tema para el cual no sólo se revisará las metodologías disponibles y toda la información relativa a los factores de emisión, sino que se realizará una exhaustiva encuesta. Como un elemento adicional, que permitirá a CONAMA actualizar en forma sencilla los resultados de este estudio, se plantea el diseño y programación de un modelo de cálculo de emisiones.

2 METODOLOGÍA

2.1 Enfoque Metodológico para Lograr el Cumplimiento de los Objetivos Planteados

El enfoque metodológico para abordar el presente estudio y asegurar el cumplimiento de los objetivos planteados, se presenta en el diagrama siguiente:

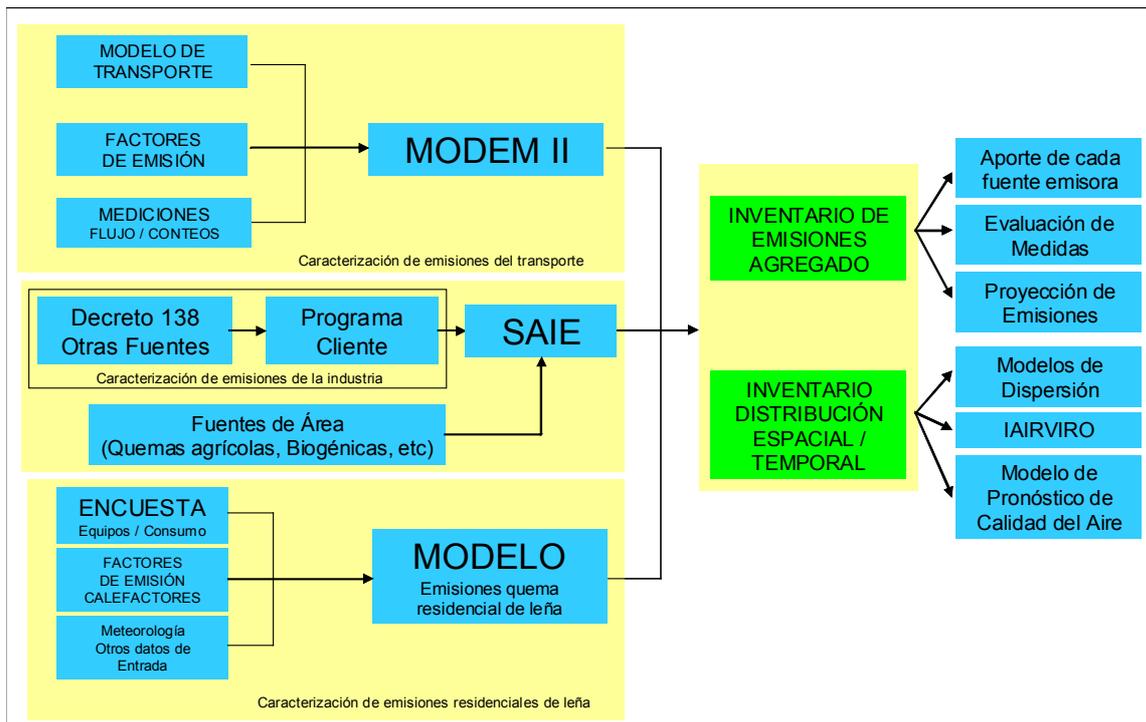


Figura 1: Enfoque Metodológico General de DICTUC para el Desarrollo del Estudio.

De esta forma, el planteamiento central es la utilización intensiva de sistemas de información ya desarrollados, con la sola excepción de las emisiones asociadas a la quema de leña, donde se propone el desarrollo de un modelo específico, el cual puede ser utilizado posteriormente en otras ciudades con problemáticas similares.

Todos los modelos planteados se integran adecuadamente con el sistema SAIE, diseñado específicamente para contener emisiones de todo tipo de fuentes y generar salidas de emisiones en cualquier formato, en particular, en el formato requerido por el sistema IAIRVIRO, aplicación que se ha utilizado en los últimos años para generar las entradas del Airviro de CONAMA Metropolitana.

Además de los archivos compatibles Iairviro se generaron los Inventarios Integrados en el formato solicitado por la contraparte técnica.

El cuadro siguiente resume los modelos usados para cada tipo de emisiones, los productos esperados y las aplicaciones de dichos productos en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas.

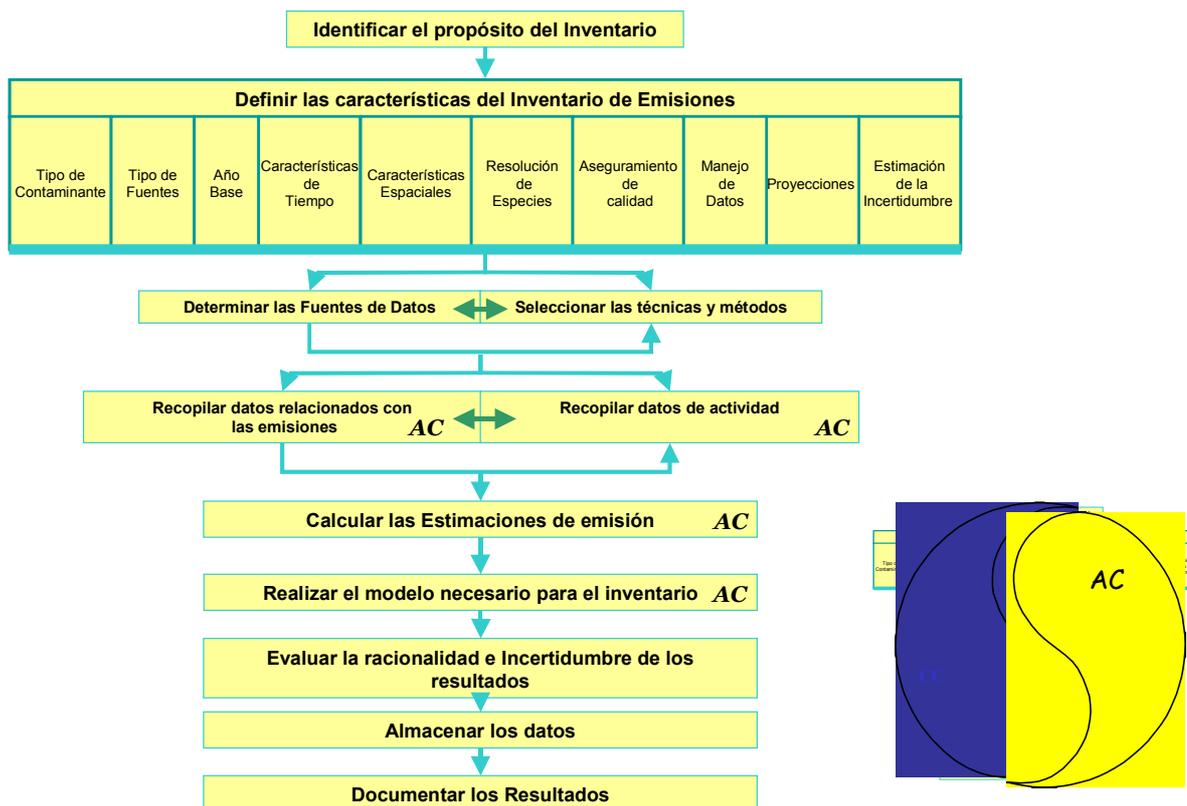
Tabla 1. Enfoque Metodológico: Modelos a usar en cada tipo de fuente emisora, Productos Esperados y Aplicaciones en el PDA Temuco PLC

Tipo de Fuente Emisora	Modelo/Metodología a usar	Productos Esperados del Estudio	Aplicaciones de los Resultados
Quema de biomasa			
• Quema Residencial y Comercial de Leña	Modelo Quema Leña	1) INTEGRACIÓN BASE DE DATOS DE EMISIONES EDB EN IAIRVIRO INVENTARIO 2005 (Georreferenciado y espacialmente distribuido) 2) INVENTARIO DE EMISIONES AGREGADO 2005 (Emisiones por categoría y por contaminante) 3) PROYECCIÓN DE EMISIONES 2010 Y 2015 4) MODELO DE QUEMA DE LEÑA (Con información de base de la encuesta y parámetros para evaluar medidas) 5) ENCUESTA DE USO DE LEÑA (Elaborada y procesada estadísticamente)	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación del aporte de cada fuente emisora a las concentraciones de cada contaminante. • Evaluación (simulación) de medidas y estrategias para reducir emisiones. • Proyección de emisiones y su impacto a los años 2010 y 2015. • Modelación de dispersión de contaminantes en la zona de Temuco-PLC. • Modelo de pronóstico de Calidad del Aire, los cuales se alimentan de emisiones, meteorología y calidad del aire. • Otros usos: Difusión, evaluación de impacto ambiental, etc.
• Quemadas Agrícolas	SAIE		
• Incendios Forestales	SAIE		
Transporte			
• Transporte de carga	MODEM II		
• Transporte público			
• Vehículos livianos			
Emisiones Industriales			
• Grandes Industrias	Software Decreto 138, SAIE		
• Otras Industrias	Programa Cliente SAIE		
Emisiones de Polvo			
• Resuspendido por tráfico calles pavimentadas	MODEM II		
• Resuspendido por tráfico calles sin pavimentar	SAIE		
• Actividades agrícolas	SAIE		
• Construcción	SAIE		
• Otras fuentes de polvo.	SAIE		
Otras Fuentes Menores			
• Móviles fuera de ruta, aeropuerto, etc.	SAIE		

Fuente: Elaboración propia.

La actualización del inventario de emisiones se enmarca dentro de la siguiente estructura o programa de inventario que ha adoptado DICTUC para la ejecución de los inventarios que ha desarrollado, destacando la aplicación de medidas de aseguramiento y control de calidad en cada uno de los pasos del programa.

Programa de inventario de emisiones



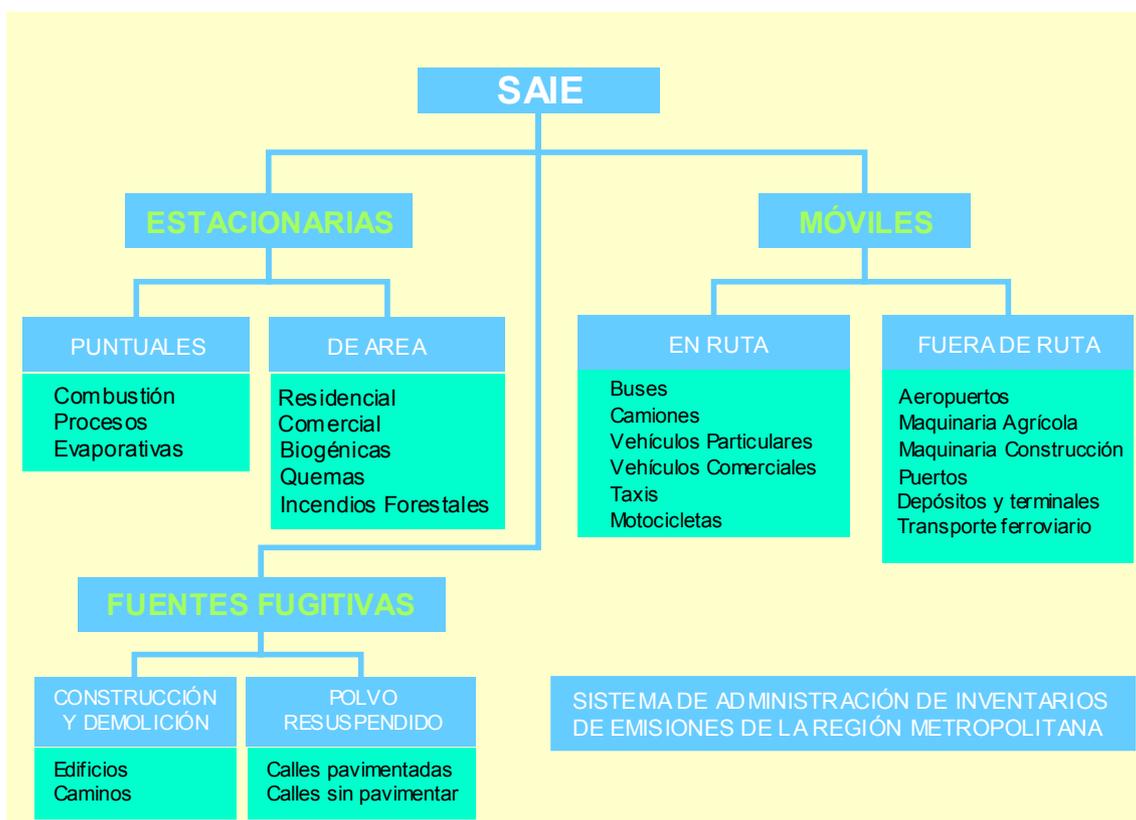
Fuente: Inventarios CICA-México.

Figura 2: Enfoque Metodológico adoptado por DICTUC en programas de inventario de emisiones

El equipo consultor posee la capacidad de generar inventarios de emisiones a nivel industrial, o de área, urbano y regional, mediante la aplicación del SAIE (Sistema de Actualización de Inventarios de Emisiones), herramienta que permite incorporar y levantar la información georreferenciada que se necesite para fines de estimación de inventarios de emisiones atmosféricas y de su posterior modelación. Para esto, SAIE se concibió desde su origen como una herramienta que se adapta a las características de la información que se genera en el sector público, de forma tal se ha transformado en una herramienta de aplicación dinámica y por lo tanto, sustentable frente a la variabilidad de acceso a recursos para la actualización de inventarios de emisiones.

Las salidas del SAIE son reportes de emisiones bajo diferentes llaves de búsqueda (tipo de vehículo, de combustible, por comuna, etc.), y archivos que permiten ingresar bases de datos al interior del sistema Airviro, donde se pueden generar escenarios de emisiones, hacer proyecciones, etc. Además, se han construido interfaces de SAIE para generar los archivos de emisiones requeridos por modelos de calidad del aire tales como UAM-IV (Urban Airshed Model, EPA-EEUU), CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extensions) y CADM (Chilean Air Dispersion Model), entre otros.

La siguiente figura esquematiza la estructuración básica de las fuentes generadoras de emisión que registra el SAIE. Es importante señalar que las categorías representadas en esta estructura son a nivel agregado ya que al interior del sistema es posible llegar a tipos de fuentes específicas, como por ejemplo uso de pintura en base a solvente a nivel residencial u hornos de fundición de bronce con gas natural, etc.

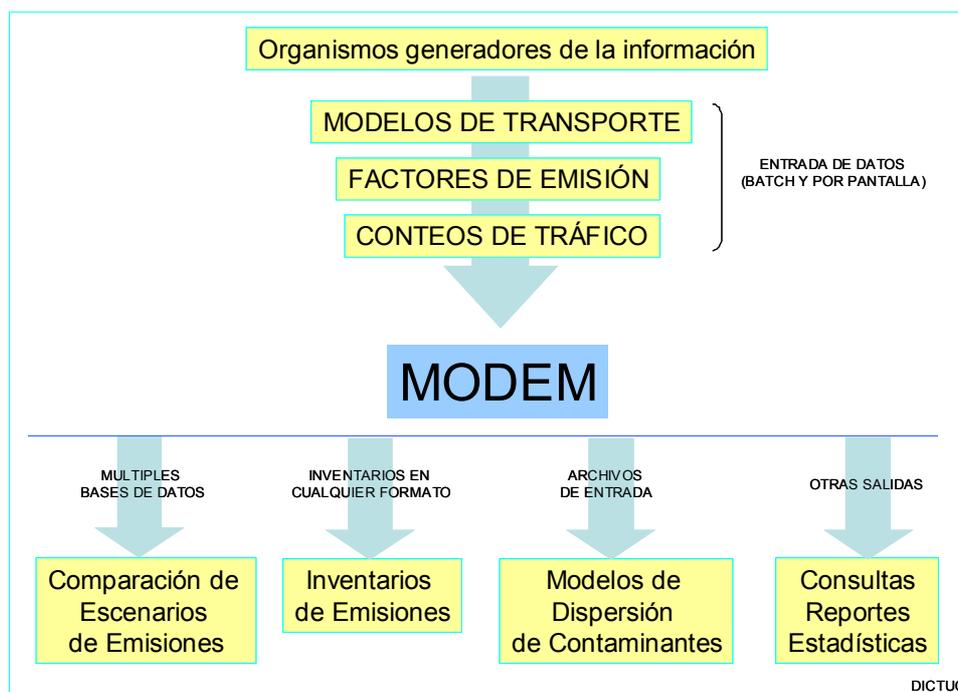


Fuente: CONAMA RM.

Figura 3. Esquema del Sistema de Administración de Inventarios de Emisiones de la Región Metropolitana (SAIE).

Por otro lado, se dispone del modelo de emisiones de fuentes móviles MODEM II, el cual sigue los mismos principios y genera también las entradas a los modelos de dispersión. En términos generales, estos sistemas corresponden a una estructuración conceptual de las metodologías de cálculo requeridas para la obtención de los complejos inventarios de fuentes industriales y areales en el caso de SAIE y fuentes móviles en el caso de MODEM II. En ambos casos, los sistemas desarrollados permiten un traspaso automatizado de la información base para el inventario y procesos automáticos de cálculo de emisiones. En este sentido, es importante mencionar que los inventarios generados por ambos sistemas son de alta complejidad considerando que uno de sus objetivos principales es la alimentación de modelos atmosféricos y la evaluación de beneficios de medidas de reducción de emisiones, lo cual implica la generación de inventarios distribuidos espacial y temporalmente y desagregado en sustancias química de VOC y Material Particulado específicas.

La siguiente figura esquematiza la estructura de funcionamiento del MODEM II, el cual permite la generación de archivos de modelación.



Fuente: DICTUC.

Figura 4: Esquema general del MODEM II.

Finalmente, dada la experiencia en los sistemas anteriormente mencionados y la consolidación de los mismos, éstos se integran a otro sistema del sector público con el objeto de generar un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes integrados (RETC) para todos los medios (agua, aire, suelo y transferencias de residuos), por tanto, la

información que sea generada en el marco de este estudio podría ser fácilmente integrable al Nodo Central del RETC actualmente disponible en CONAMA en página WEB.

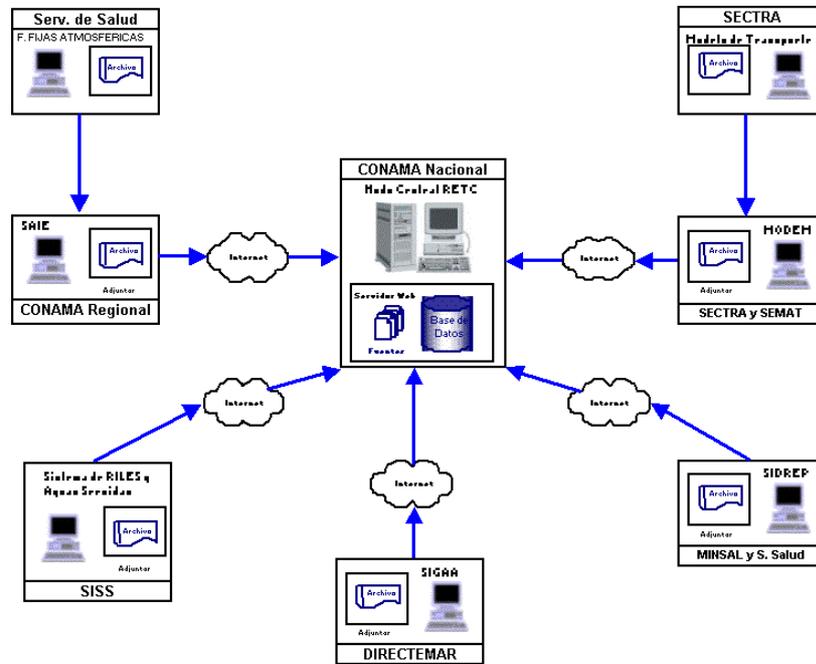


The screenshot shows the 'GENERACIÓN DE REPORTE' interface of the RETC system. It includes a header with the Chilean government logo and the text 'Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes'. The main form is divided into several sections: 'AGRUPADO POR' (set to 'Contaminante'), 'Búsqueda por' (with filters for 'Año de los Datos' (2000), 'Localización Geográfica' (Regiones, Todas), 'Contaminante' (Familia Química, Todas), and 'Códigos de Clasificación' (Giros Industriales, CIU Nivel 1, Todas)). The 'Columnas Reporte' section has tabs for 'Emisiones y Transferencias' and 'Detalle', with checkboxes for 'Emisiones Atmosféricas y/o', 'Emisiones al Agua y/o', and 'Transf. Residuo Sólido Generado y/o', each with a 'Todas' dropdown. The 'REPORTE OPCIONAL' section has a 'Búsqueda por' filter for 'Transf. Residuo Sólido Destinado'. At the bottom are 'Generar...' and 'Reiniciar...' buttons. Footer text includes 'Sistema Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes - RETC' and 'Copyright © 2004'.

Fuente: CONAMA-DICTUC.

Figura 5: Reporte Avanzado del nodo central del RETC. CONAMA.

PRUEBA PILOTO Esquema de Sistemas Sectoriales Integrados



Fuente: CONAMA-DICTUC.

Figura 6: Esquema general de sistemas integrado durante la fase Piloto del RETC. DICTUC.

Como se indicó, entre los sistemas que integrarán este nodo central se encuentran tanto el SAIE como MODEM II, cuya transferencia de información al RETC ya se encuentra automatizada en la actualidad.

3 DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES

A continuación, se describen las metodologías de estimación de emisiones de cada una de las fuentes emisoras consideradas en el presente estudio.

3.1 Fuentes Móviles en Ruta

3.1.1 Metodología general de cálculo de emisiones vehiculares

La metodología general para estimar las emisiones vehiculares en ruta consiste en estimar los niveles de actividad de las diferentes categorías vehiculares y asociarles a cada una de ellas un nivel de emisión promedio o factor de emisión (ver siguiente ecuación).

Para los vehículos motorizados, el nivel de actividad es representado, básicamente, por el kilometraje recorrido por el vehículo en el tiempo y área donde se desarrolla el inventario, mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramos por kilómetro recorrido, los que generalmente son altamente dependientes de la velocidad media de circulación.

$$E_i = \sum_k \text{ Nivel de actividad}_k \times FE_{ik} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E_i: Emisiones [gr] del contaminante considerado i

Nivel de actividad : Nivel de actividad de la categoría vehicular k

FE_{ik}: Factor de emisión del contaminante i para la categoría k evaluada [gr/km]

El nivel de actividad asociado a este tipo de fuentes, puede ser obtenido de una manera desagregada y en detalle estimando directamente la información a partir de datos de flujo vehicular (modelos de transporte, conteos vehiculares, etc.), entre otras variables, generados por los modelos de transporte. Sin embargo, muchas veces estos datos no están disponibles y es necesario estimar el nivel de actividad vehicular de forma más agregada con la ayuda de otros parámetros alternativos, tales como las estadísticas de consumo de combustible regionales, caracterización detallada del parque y/o encuestas directas a usuarios, o bien aplicar una metodología alternativa de asignación de flujo a la red vial, como en el caso del presente estudio.

3.1.1.1 Clasificación de fuentes móviles en ruta

Dentro de las fuentes móviles en ruta, considerando las características de las flotas locales de cada ciudad y la información disponible, se utilizan en términos generales las siguientes categorías básicas de vehículos:

- Vehículos livianos particulares
- Vehículos livianos comerciales
- Vehículos de alquiler
- Taxis colectivos
- Buses transporte público
- Buses transporte interurbano y rural
- Camiones livianos, medianos y pesados
- Motocicletas

Subcategorías más desagregadas se definen de acuerdo a las características locales y a la mejor información disponible, principalmente la correspondiente a factores de emisión.

La tabla siguiente indica los tipos de vehículos que serán considerados dentro del presente estudio, para los 3 escenarios en evaluación (2005, 2010 y 2015). En anexos, se entrega la descripción de las categorías vehiculares que se indican.

Tabla 2. Listado de fuentes móviles en ruta

CATEGORÍA VEHICULAR	SUB-CATEGORIA	2005	2010	2015
VEHÍCULOS PARTICULARES (sedan, sw)	Vehículos particulares catalíticos tipo 1	✓	✓	✓
	Vehículos particulares catalíticos tipo 2		✓	✓
	Vehículos particulares no catalíticos	✓	✓	✓
	Vehículos particulares otros (diesel)			
VEHÍCULOS DE ALQUILER (taxis básicos)	Vehículos de alquiler catalíticos tipo 1	✓	✓	✓
	Vehículos de alquiler catalíticos tipo 2		✓	✓
	Vehículos de alquiler no catalíticos	✓	✓	✓
	Vehículos de alquiler otros (diesel)		✓	✓
VEHÍCULOS COMERCIALES (jeep, camionetas, furgones, van, buses empresas)	Vehículos comerciales catalíticos tipo 1	✓	✓	✓
	Vehículos comerciales catalíticos tipo 2		✓	✓
	Vehículos comerciales no catalíticos	✓	✓	✓
	Vehículos comerciales diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Vehículos comerciales diesel tipo 2	✓	✓	✓
	Buses particulares	✓	✓	✓
MOTOS	Motos 2 tiempos tipo 1	✓	✓	✓
	Motos 2 tiempos tipo 2		✓	✓
	Motos 4 tiempos tipo 1	✓	✓	✓
	Motos 4 tiempos tipo 2		✓	✓
TAXIS COLECTIVOS	Taxis colectivos catalíticos tipo 1	✓	✓	✓
	Taxis colectivos catalíticos tipo 2		✓	✓
	Taxis colectivos no catalíticos	✓		
	Taxis colectivos otros (diesel)	✓	✓	✓
CAMIONES LIVIANOS, MEDIANOS Y PESADOS	Camiones livianos diesel convencional	✓	✓	✓
	Camiones livianos diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Camiones livianos diesel tipo 2	✓	✓	✓
	Camiones livianos diesel tipo 3		✓	✓
	Camiones medianos diesel convencional	✓	✓	✓
	Camiones medianos diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Camiones medianos diesel tipo 2	✓	✓	✓
	Camiones medianos diesel tipo 3		✓	✓
	Camiones pesado diesel convencional	✓	✓	✓
	Camiones pesado diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Camiones pesado diesel tipo 2	✓	✓	✓
	Camiones pesado diesel tipo 3		✓	✓
BUSES URBANOS	Taxibus diesel convencional	✓	✓	✓
	Taxibus diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Taxibus diesel tipo 2	✓	✓	✓
BUSES RURALES E INTERURBANOS	Buses interurbanos diesel convencional	✓		
	Buses interurbanos diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Buses interurbanos diesel tipo 2	✓	✓	✓
	Buses rurales diesel convencional	✓		
	Buses rurales diesel tipo 1	✓	✓	✓
	Buses rurales diesel tipo 2	✓	✓	✓

3.1.1.2 Tipos de emisiones a considerar en los cálculos

La metodología de cálculo implementada en MODEM II asume que las emisiones provienen de tres fuentes fundamentales: las derivadas del motor cuando éste se encuentra en condiciones de operación estables (emisiones en caliente), aquellas provenientes del motor cuando éste se encuentra frío (emisiones por partidas en frío) y por último aquellas denominadas evaporativas (emisiones de hidrocarburos evaporados). Las emisiones totales serán, en consecuencia, la suma de estos tres tipos de emisiones, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3. Desagregación de las emisiones totales

Desagregación de las emisiones totales:	
$E_{total} = E_{caliente} + E_{partidas\ en\ frío} + E_{evaporativas}$	Ecuación 2
E_{total} :	Emisiones totales del contaminante considerado [gramos]
$E_{caliente}$:	Emisiones en caliente, fase estabilizada del motor [gramos]
$E_{partidas\ en\ frío}$:	Emisiones por partidas en frío [gramos]
$E_{evaporativas}$:	Emisiones por evaporación ¹ [gramos]

A estas fuentes se le suman las emisiones originadas por el desgaste de frenos y neumáticos y las emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas.

A su vez, se considera que las emisiones evaporativas en fuentes móviles provienen de tres fuentes primarias:

Tabla 4. Fuentes primarias de emisiones evaporativas

Fuentes primarias de emisiones evaporativas:
<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones durante el día (diurnal) • Emisiones por detenciones en caliente (hot soak emissions) • Pérdidas durante el recorrido (running losses)

Las emisiones por partidas en frío se asocian a las emisiones producidas en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual la conducción se realiza en condiciones de temperatura de motor inferiores a las normales de diseño. Estas emisiones se destacan aun más cuando se estiman emisiones en ciudades donde el largo del viaje promedio es corto y las temperaturas son bajas.

Las emisiones evaporativas durante el día (diurnal), se asocian a las variaciones de temperatura naturales que se presentan durante el día. Las emisiones por detenciones en

¹ Relevantes para especies de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos en vehículos a gasolina

caliente (hot soak) se originan cuando el motor del vehículo es apagado (posterior a haber efectuado un recorrido), en donde el calor remanente calienta las líneas de combustible que ya no está fluyendo produciendo emisiones evaporativas. Estas emisiones pueden dividirse en “hot soak” cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado está por sobre los 70°C y en “warm soak” cuando la temperatura es menor a 70°C. Finalmente, se tienen las emisiones evaporativas generadas por pérdidas durante el recorrido (running losses) las cuales también se diferencian según el grado de temperatura del motor, definiéndose “hot running losses” cuando la temperatura del agua refrigerante del motor se encuentra sobre los 70°C y “warm running losses” cuando se encuentra por debajo de este valor.

Las fuentes anteriores se hacen significativas al tratarse de vehículos a gasolina (vehículos de ciclo Otto), por lo que el cálculo se refiere a este segmento del grupo de fuentes móviles en ruta.

En resumen, entonces, las emisiones asociadas a las fuentes móviles en ruta provienen de los siguientes tipos de descarga:

Tabla 5. Tipo de descargas totales incorporadas en el cálculo de emisiones de fuentes móviles en ruta

Tipos de descargas de emisiones de fuentes móviles en ruta:
<ul style="list-style-type: none">• Emisiones en caliente provenientes del sistema de escape de los vehículos• Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido (running losses)• Emisiones evaporativas durante el día (diurnal)• Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak emissions)• Emisiones por partidas en frío• Emisiones provenientes de desgaste de frenos y neumáticos.• Emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas

De acuerdo a la información disponible, al contaminante considerado y a la precisión requerida en el cálculo de emisiones, desde el punto de vista de la metodología utilizada para el cálculo de emisiones, se distinguen dos tipos: metodología para cálculo de emisiones por arco y metodología para cálculo de emisiones por zonas, las cuales se describen en forma resumida a continuación. Ambas metodologías son utilizadas en los cálculos de emisiones en MODEM II.

3.1.1.3 Metodología tipo arco

La metodología tipo Arco se basa en la existencia de una red vial, e idealmente la disposición de salidas de modelos de transporte. Cada arco tiene asociado características de operación

básicas² asignadas según condiciones de equilibrio en la red, en un horario determinado (por ejemplo punta mañana), lo que permite tener valores de velocidad y flujos para cada arco.

A través de la aplicación de esta metodología se calculan con MODEM II los siguientes tipos de emisiones:

Tabla 6. Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo arco

Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo arco:
<ul style="list-style-type: none">• Emisiones en caliente provenientes del sistema de escape de los vehículos• Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido (running losses)• Emisiones provenientes de desgaste de frenos y neumáticos.• Emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas• Consumo de combustible (CC). Aunque no se trata de emisiones, bajo esta metodología también se calcula el consumo de combustible (CC) para las diferentes categorías.

3.1.1.4 Metodología tipo zona

En la metodología tipo Zona, dentro de MODEM II, las emisiones difusas (como las originadas en la evaporación de combustibles líquidos) no son calculadas por arco sino por zonas geográficas más extensas (por ejemplo, en el caso de la Región Metropolitana, estas corresponden a las comunas del Gran Santiago, y para las ciudades PACIN corresponden a los sectores definidos), utilizando información zonal como número de viajes entre sectores, vehículos de la categoría *i* por sector, información de temperaturas, largo promedio de viajes, entre otras.

A través de la aplicación de esta metodología, se calculan los siguientes tipos de emisiones:

Tabla 7. Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo zona

Emisiones calculadas en MODEM II con metodología tipo zona:
<ul style="list-style-type: none">• Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak emissions)³• Emisiones evaporativas durante el día (diurnal)⁴• Emisiones debidas a las partidas en frío

² Capacidad, velocidades, longitud y flujos entre otros.

³ Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot soak emissions) cuyo factor de emisión esta expresado en [gr/detención] y depende de parámetros como la temperatura ambiental y la presión de vapor Reid del combustible utilizado.

⁴ Emisiones evaporativas durante el día (diurnal) cuyo factor de emisión está expresado en [gr/día] y también depende de parámetros como la temperatura ambiental y la presión de vapor Reid del combustible.

3.1.2 Metodologías específicas de cálculo de emisiones vehiculares

A continuación se describen las metodologías de estimación de emisiones asociadas a fuentes móviles en ruta.

3.1.2.1 Metodología de cálculo de emisiones en caliente por tubo de escape

La metodología general para este tipo de emisiones corresponde a:

$$E_{hora\ ijk} = F_{jk} \cdot L_j \cdot FE(v)_{ik} \cdot PF_{jk} \cdot C_{jk} \quad \text{Ecuación 3}$$

- $E_{hora\ ijk}$: Emisiones [gr] del contaminante considerado i en un arco j para la categoría vehicular k en una hora determinada.
- F_{jk} : Flujo vehicular [veh/h] total en el arco j a la hora en que se establecieron los parámetros por arco bajo el modelo de transportes utilizado como base
- L_j : Largo del arco evaluado [km].
- $FE(v)_{ik}$: Factor de emisión en función de la velocidad [gr/km] del contaminante i para la categoría k evaluada.
- PF_{jk} : Perfil de flujo o fracción del flujo total (Flujo jk) correspondiente a la hora evaluada y sector asociado al arco.
- C_{jk} : Composición o fracción del flujo total en el arco j perteneciente a la categoría k para el sector asociado al arco.

En la siguiente figura se presenta de manera esquemática esta metodología con información proveniente de modelos de transporte y para arcos agrupados por sectores geográficos (tipos asimilables según sectores específicos dentro del área de estudio). En esta ilustración es posible observar los requerimientos de datos adicionales a lo entregado por los modelos de transporte.

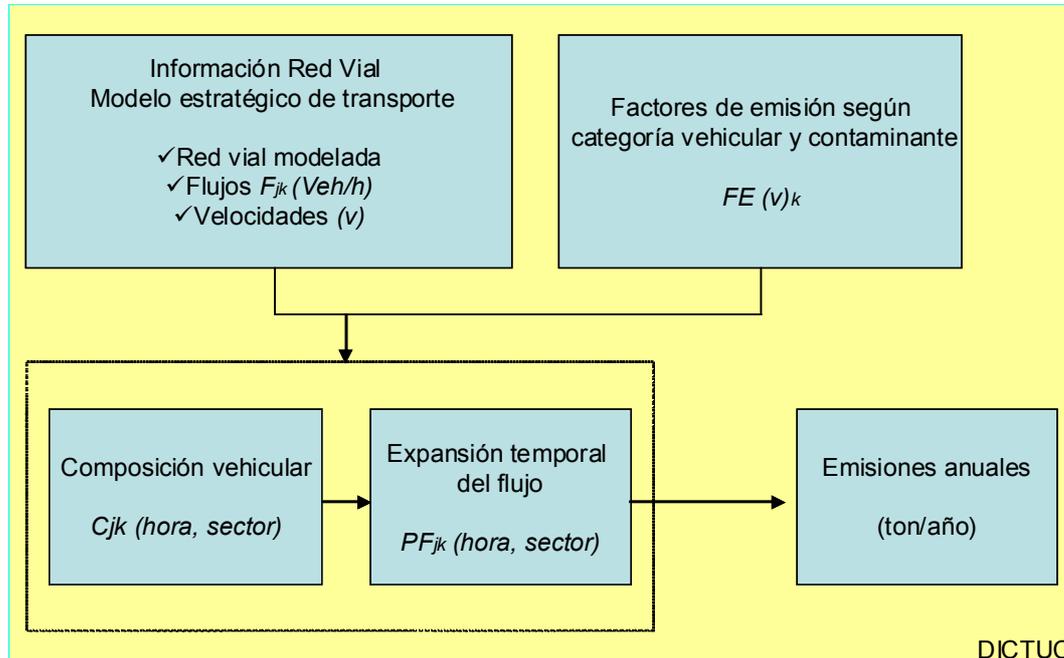


Figura 7. Esquema general para la aplicación de Metodología para Tubo de Escape.

A continuación, se describe la obtención de los parámetros a los que se hace referencia en la figura anterior.

Modelación de transporte

En el caso de la información de la modelación de transporte, se utilizó la información entregada por SECTRA en el marco del presente estudio para la red vial comprendida por Temuco y Padre Las Casas. Las corridas corresponden a escenarios año 2005.

Resolución Espacial de las emisiones

Uno de los propósitos de los inventarios es alimentar el modelo de dispersión, por lo tanto, se debe considerar el tipo de información de entrada que requiere el modelo señalado. Se adoptará una metodología del tipo arco que permita generar el inventario con un nivel de detalle de las emisiones a nivel de cada arco incluido en el análisis y generando de esta forma el formato y nivel de desagregación requerido para la modelación.

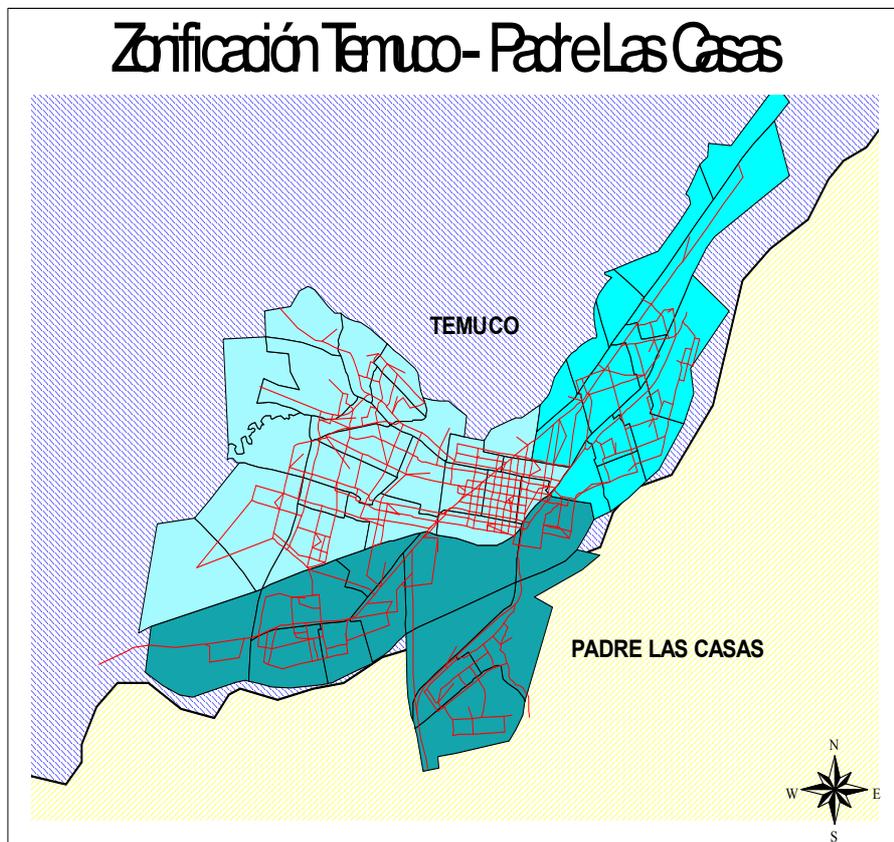
Zonificación del área de estudio

Para efectuar un cálculo de emisiones más adecuado que guarde relación con el comportamiento tanto del flujo vehicular a lo largo del día o su composición vehicular en distintos sectores dentro de una ciudad (por ejemplo, hay sectores dentro de una ciudad por donde no circulan camiones pesados, etc), se hace necesario zonificar el área de estudio.

El desarrollo de la zonificación se hizo tomando como base los criterios tomados en el estudio “Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental, Etapas II” desarrollado por MIDEPLAN-SECTRA, para el caso de Temuco-Padre Las Casas.

A cada una de estas zonas, se le asignó entonces perfiles temporales específicos, composiciones según categoría vehicular para el caso de MODEM II (buses, camiones, vehículos particulares, etc), composiciones tecnológicas según subcategoría vehicular (Buses Euro I, Buses Euro II, etc). También considerando esta zonificación, se actualizaron las matrices de viajes (archivos eod) y los archivos de parque vehicular, requeridos por MODEM.

La figura siguiente muestra la zonificación del área de estudio.



	Sector 1 (Sectores Norte y Oriente)
	Sector 2 (Sectores Poniente, Norponiente, Centro y Centro Histórico)
	Sector 3 (Sectores Sur y Surponiente), según EOD 1996

Nota: En base a antecedentes EOD 1996, Temuco.

Figura 8. Zonificación Temuco-Padre Las Casas.

Caracterización de flujos vehiculares (C_k)

Con el objetivo de complementar los modelos es necesario utilizar datos provenientes de campaña de caracterización de flujos vehiculares que permitan generar las categorías vehiculares requeridas. Esta caracterización del flujo vehicular en cuanto a su composición hace posible obtener la mejor “fotografía” posible acerca de las diferentes clases de vehículos que circulan diariamente por cada ciudad y conocer sus proporciones relativas, vale decir, qué porcentaje del flujo total corresponde a vehículos livianos, cuanto a camiones, a buses, etc. Esto es necesario debido a que la estimación de emisiones debe desagregarse en diferentes categorías vehiculares debido a las apreciables diferencias de emisiones entre un tipo de vehículo y otro.

En general, el alcance de esta actividad vendrá dado por la subdivisión de categorías entregada por el modelo de transporte o la información base disponible. En términos generales los modelos de transporte sólo distinguen los flujos asignados como aquellos que caracterizan el transporte de ruta fija, y aquellos de ruta variable, donde se encuentran agrupadas el grueso de las categorías vehiculares, como vehículos particulares y comerciales de todos los tipos. De esta manera, para el caso del presente estudio, se efectuó un trabajo de recopilación de antecedentes generados en estudios anteriores referidos a caracterización de flujos en terreno (ver párrafo siguiente); sumado a esto, se efectuó una caracterización del parque local basada en estadísticas sectoriales como parque vehicular, revisión de bases de datos provenientes de plantas de revisión técnica y bases generadas por los diferentes gobiernos locales respecto a los permisos de circulación otorgados en cada uno de ellos, haciendo posible desagregar los flujos vehiculares en todas aquellas categorías que el modelo de estimación de emisiones requiere.

Composición de flujos vehiculares escenario 2005 en Temuco y Padre Las Casas

El procesamiento de las composiciones tecnológicas del parque vehicular de Temuco y Padre Las Casas año 2005, se efectuó utilizando la información actualizada de Permisos de Circulación y Plantas de Revisión Técnica. Esta información se complementó con las composiciones tecnológicas del parque vehicular de Temuco y Padre Las Casas obtenido dentro del estudio “Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental para Ciudades Intermedias, Etapa II” desarrollado por MIDEPLAN-SECTRA. En dicho estudio se entregan composiciones tecnológicas identificadas en los tres sectores característicos mencionados en los párrafos anteriores, cuyas composiciones se obtuvieron cruzando los antecedentes de Permisos de Circulación, Plantas de Revisión Técnica (ambos del año 2004) y resultados de las campañas de conteos efectuadas a finales del año 2004, localizados en distintos puntos de la zona de estudio.

La revisión de los Permisos de Circulación registrados por INE correspondientes al año 2005 entregaron los siguientes resultados de parque vehicular agrupado en categorías:

Tabla 8: Parque Vehicular, año 2005.

	TEMUCO	PLC
Veh. Partic.	21.590	4.145
Veh. Comerc.	12.488	3.398
Taxis Alquiler	345	111
Taxis Colec	1.080	255
Motos	379	84
Minibuses (colectivos)	255	54
Buses	769	307
Camiones	1.753	432
Total	38.659	8.786

Fuente: INE 2005.

Las composiciones tecnológicas correspondientes al escenario 2005 utilizadas para el cálculo de emisiones se presentan en la siguiente tabla.

El parque de buses de transporte público proviene de antecedentes entregados por la Seremi de Transporte que fueron expuestos dentro del estudio “Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas” desarrollado por CONAMA IX en el presente año. Las composiciones resultantes se obtuvieron basándose en el supuesto de una vida útil de los buses de 25 años. Las composiciones finales se asocian al decrecimiento de la participación de buses convencionales o sin norma de emisión y la entrada de buses con tecnología Euro II para suplir el retiro de los buses mencionado.

Tabla 9: Composición tecnológica del parque vehicular (%) – Temuco y Padre Las Casas, escenario 2005

CATEGORÍA VEHICULAR	SUB-CATEGORIA	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Suma porcentual por categoría vehicular
VEHÍCULOS PARTICULARES (sedan, sw)	Vehículos particulares catalíticos tipo 1	59,8	69,7	54,5	100,0
	Vehículos particulares no catalíticos	40,2	30,3	45,5	
VEHÍCULOS DE ALQUILER (taxis básicos)	Vehículos de alquiler catalíticos tipo 1	85,3	79,2	84,8	100,0
	Vehículos de alquiler no catalíticos	14,7	20,8	15,2	
VEHÍCULOS COMERCIALES (jeep, camionetas, furgones, van, buses empresas)	Vehículos comerciales catalíticos tipo 1	50,9	59,4	41,2	100,0
	Vehículos comerciales no catalíticos	29,4	20,3	42,6	
	Vehículos comerciales diesel tipo 1	17,1	18,9	15,4	
	Vehículos comerciales diesel tipo 2	0,6	0,7	0,5	
	Buses particulares	1,9	0,8	0,3	
MOTOS	Motos 2 tiempos tipo 1	16,1	28,9	25,4	100,0
	Motos 4 tiempos tipo 1	83,9	71,1	74,6	
TAXIS COLECTIVOS	Taxis colectivos catalíticos tipo 1	83,3	88,7	75,2	100,0
	Taxis colectivos no catalíticos	16,7	11,3	24,8	

	Taxis colectivos diesel	57,3	57,6	57,3	
CAMIONES LIVIANOS	Camiones livianos diesel convencional	31,3	30,9	31,2	100,0
	Camiones livianos diesel tipo 1	11,3	11,5	11,5	
	Camiones livianos diesel tipo 2	0,0	0,0	0,0	
	Camiones livianos diesel tipo 3	57,4	57,1	57,2	
CAMIONES MEDIANOS	Camiones medianos diesel convencional	31,3	31,1	31,3	100,0
	Camiones medianos diesel tipo 1	11,2	11,8	11,5	
	Camiones medianos diesel tipo 2	0,0	0,0	0,0	
	Camiones medianos diesel tipo 3	56,6	56,6	56,6	
CAMIONES PESADOS	Camiones pesado diesel convencional	27,8	27,8	27,8	100,0
	Camiones pesado diesel tipo 1	15,6	15,6	15,6	
	Camiones pesado diesel tipo 2	58,5	58,5	58,5	
BUSES	Buses diesel convencional	24,5	24,5	24,5	100,0
	Buses diesel tipo 1	16,9	16,9	16,9	
	Buses diesel tipo 2	59,8	69,7	54,5	

Nota: La descripción de las categorías vehiculares se presentan en el Anexo C.

Expansión temporal de flujos vehiculares (PF_k)

Para poder calcular emisiones a lo largo de todo el día y todo el año, es decir, llegar a estimar las emisiones anuales, es necesario una expansión del flujo vehicular entregado por los modelos de transporte, al menos a todo el día. Los modelos de transporte entregan solamente evaluaciones o asignaciones de flujos para ciertas horas específicas de modelación, generalmente un horario de punta y otro fuera de punta. Entonces, como el modelo de emisiones requiere calcular emisiones en un periodo continuo de tiempo, es necesario extrapolar estas asignaciones a todo el día y a todo el año, para lo cual se debe contar con perfiles de flujos diarios que caractericen el comportamiento a lo largo de los días y semanas característicos. En este sentido, los conteos continuos de flujos entregan la información relevante para su obtención.

Así, en la Ecuación 3, el flujo modelado está representado por la expresión " F_{kj} ", mientras que el factor de extrapolación denominado "perfil de flujo" o " PF_{jk} (hora)" permite entonces expandir este flujo a cualquier otra hora del día.

En este contexto, para ejecutar esta actividad de construcción de perfiles horarios por categoría vehicular, se requiere el input de los resultados de caracterizaciones de flujos vehiculares a partir de los conteos de flujos continuos, realizados en Temuco y Padre Las Casas en el marco de estudios efectuados con anterioridad por MIDEPLAN-SECTRA⁵. A partir de dicha información, entonces, se construyeron perfiles horarios en los formatos que los requiere MODEM II, para los distintos tipos de día de una semana normal (Lunes-Jueves, Viernes,

⁵ Investigación de instrumentos de planificación ambiental para ciudades intermedias, etapa II, año 2005.

Sábado y Domingo) para un sector o zona específica, y según sentido de circulación, todos estos para cada una de las categorías vehiculares.

Así, los perfiles mostrarán el comportamiento de los flujos vehiculares (veh/hr) durante las distintas horas de un día (24 hrs), representadas a través de un histograma de flujos horarios y transformados luego en perfiles normalizadas por el horario punta mañana para ser ingresados a MODEM II.

A continuación se presenta a modo de gráfico el perfil semanal normalizado, promedio de todos los sectores identificados en Temuco-Padre Las Casas. La normalización se efectúa respecto a la hora 8-9 am de un día laboral.

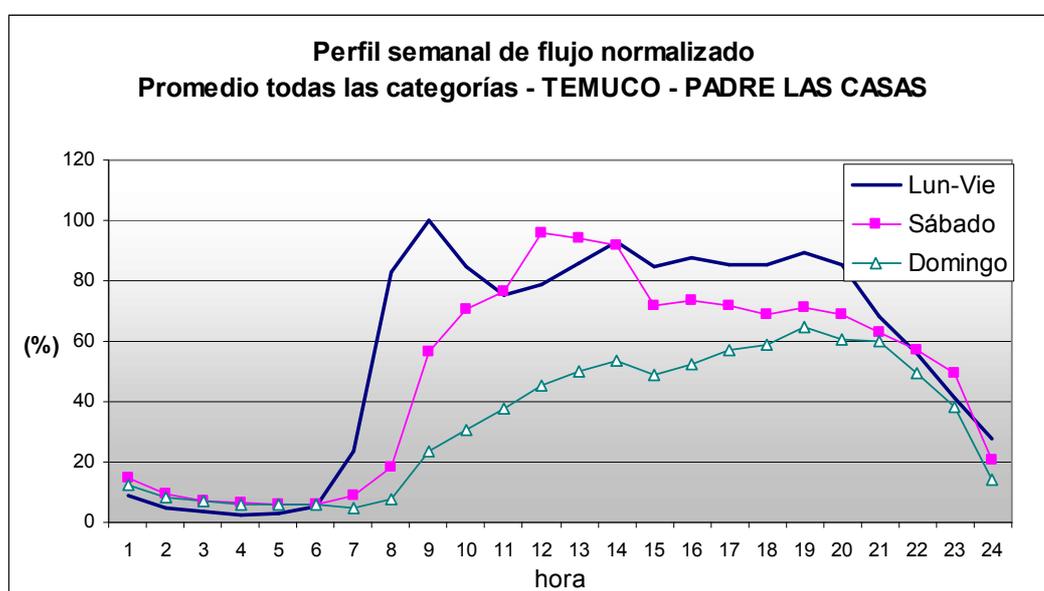


Figura 9: Perfil semanal promedio de todas las categorías vehiculares, Temuco-Padre Las Casas.

Factores de emisión (FE(v)_{ik})

Paralelo a la caracterización y expansión de flujos, composiciones vehiculares y todos aquellos aspectos que tienen que ver con la descripción y cuantificación del nivel de actividad de las fuentes móviles en ruta, es necesario incorporar al proceso de cálculo el nivel de emisión de contaminantes atmosféricos generados por las diferentes categorías vehiculares existentes, lo que se conoce como la tasa de emisión másica por unidad de desplazamiento o “factores de emisión”. Estos tienen en general la unidad de gramos por kilómetro recorrido y dependen, en su mayoría, de la velocidad media de circulación.

Como el factor de emisión “ $FE(v)_{ik}$ ” depende de la velocidad, esta última puede ser obtenida directamente desde el modelo de transporte, de datos provenientes de la calibración del modelo o bien mediante el empleo de técnicas específicas para estos fines. En términos generales dependiendo del modelo de transporte, MODEM II puede desarrollar sus propios cálculos mediante la incorporación de funciones flujo demora, para lo cual será necesario incorporar a MODEM II los parámetros calibrados para dichas funciones o bien trabajar de manera directa con velocidades discretas entregadas por el modelo principalmente (velocidad de horario libre, punta y fuera de punta). Para el presente estudio se utilizaron las velocidades entregadas de manera directa para cada arco por el modelo de transporte.

3.1.2.2 Metodología de cálculo de emisiones evaporativas

Emisiones evaporativas por pérdidas durante el recorrido

En el caso de las running losses, por tratarse de pérdidas durante el recorrido del vehículo, es decir, en el trayecto recorrido sobre los arcos de la red vial, éstas se incluyen como cualquier otro contaminante en el cálculo de las emisiones totales, por lo que se consideran como emisiones de arco, es decir, bajo la metodología denominada tipo arco. Esta metodología hace diferencia según el grado de temperatura del motor, es decir, se denomina “hot running losses” cuando la temperatura del agua refrigerante del motor se encuentra sobre los 70°C y “warm running losses” cuando se encuentra por debajo de este valor. La expresión genérica para el cálculo por arco es:

$$E_{evapRLkj} = \sum (FE_{evapRLk} \cdot F_{kj} \times L_j) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$E_{evapRLkj}$: emisiones evaporativas totales debidas al recorrido diario (running losses) de la categoría k por arco de la red vial j [gr/hr]

$FE_{evapRLk}$: factor de emisión para emisiones evaporativas debidas al recorrido diario (hot running losses o warm running losses según corresponda) de la categoría k en estudio [gr/km]

F_{kj} : flujo de vehículos de la categoría k en el arco j evaluado.

L_j : longitud del arco j [km]

Emisiones evaporativas durante el día (diurnal)

Las emisiones evaporativas durante el día (diurnal), se asocian a las variaciones de temperatura naturales que se presentan durante el día. La expresión de cálculo de emisiones totales diarias se presenta a continuación:

$$EevapD_k = Nv_k \cdot FEevapD_k \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

$EevapD_k$: Emisiones evaporativas totales debidas a las variaciones naturales de temperatura (diurnal) de la categoría k , en el área de estudio [gr/día]

Nv_k : Número de vehículos de la categoría k en el área de estudio.

$FEevapD_k$: Factor de emisión para emisiones diarias debidas a cambios en la temperatura ambiente (diurnal) correspondiente a la categoría k [gr/día]

El número de vehículos Nv_k , se obtiene a partir de la información proveniente de INE (permisos de circulación) para el año 2005. Además, con el fin de redistribuir de una manera más representativa el parque en la ciudad durante el día, y estimar qué fracción de los vehículos realmente se mantiene en su sector de origen y cuales salen o entran se utiliza la información de matrices de viajes por sectores EOD.

Emisiones evaporativas por detenciones en caliente (hot snack)

Las emisiones por detenciones en caliente (hot soak) se originan cuando el motor del vehículo es apagado (posterior a haber efectuado un recorrido), en donde el calor remanente calienta las líneas de combustible que ya no está fluyendo produciendo emisiones evaporativas. Estas emisiones pueden dividirse en “hot soak” cuando la temperatura del agua de refrigeración del motor al ser apagado está por sobre los 70°C y en “warm soak” cuando la temperatura es menor a 70°C.

Al igual que para las emisiones durante el día, para las detenciones en caliente se considera la población de vehículos de acuerdo a la información base INE y a la distribución de la EOD.

La expresión de cálculo de emisiones totales diarias se presenta a continuación:

$$EevapHS_k = Nv_k \cdot Nvd_k \cdot FEevapHS_k \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

$EevapHS_k$: Emisiones evaporativas totales debidas a las detenciones en caliente (hot o warm soak según corresponda) de la categoría k , en el área de estudio expresadas en [gr/día]

Nv_k : Número de vehículos de la categoría k en el área de estudio.

Nvd_k : Número de viajes diarios promedio realizado por la categoría k .

$FEevapHS_k$: Factor de emisión para emisiones provenientes de las detenciones en caliente (hot o warm soak) de la categoría k [gr/detención]

3.1.2.3 Metodología de cálculo de emisiones por partidas en frío

Las emisiones por partidas en frío se asocian a las emisiones producidas en aquella porción del viaje de un vehículo en la cual la conducción se realiza en condiciones de temperatura de motor inferiores a las normales de diseño. Estas emisiones se destacan aun más cuando se estiman emisiones en ciudades donde el largo del viaje promedio es corto y las temperaturas son bajas.

La metodología de cálculo para este tipo de emisiones se basa en la fórmula genérica mostrada a continuación:

$$E_{i,j,k,m} = E_{cal\ i,j,k,m} * (e_{frío}/e_{cal})_{jk} * (T_m) * F_{viaje} * (T_m, LV_k) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

- E_{ijkm} : Emisión de la comuna i , para el contaminante j , para la categoría de vehículo k , para el mes m , en Ton del contaminante/mes
- $E_{CALijkm}$: Emisiones Calculadas con la metodología de arcos (emisiones en caliente) para la comuna i , contaminante j , vehículo k , en el mes m , en Ton/mes
- $(e_{frío}/e_{cal})_{jk}$: Razón de emisiones entre motor frío y motor caliente para el contaminante j y vehículo k (adimensional).
- F_{viaje} : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de T_m y L_v
- T_m : Temperatura promedio del mes m
- LV_k : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k

La ecuación siguiente calcula efectivamente las emisiones en frío asociadas al tramo en que el vehículo transita con motor frío. La ecuación siguiente muestra el cálculo de las emisiones en caliente que habrían sido calculadas para el tramo frío. Por lo tanto, éstas tendrán que ser restadas en el sistema de las calientes originales calculadas en el MODEM II antes que se incorporaren este tipo de emisiones.

$$E_{ijkm} = E_{cal,ijkm} \times F_{viaje} (T_m, LV_k) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

- E_{ijkm} : Emisión de la comuna i , para el contaminante j , para la categoría de vehículo k , para el mes m , en Ton del contaminante/mes
- $E_{CAL,ijkm}$: Emisiones calculadas con la metodología de arcos (emisiones en caliente) para la comuna i , contaminante j , vehículo k , en el mes m , en Ton/mes
- F_{viaje} : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de T_m y L_v
- T_m : Temperatura promedio del mes m
- LV_k : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k

En las ecuaciones anteriores se hace referencia a dos parámetros importantes. Uno de ellos es la relación “ $e_{\text{frío}}/e_{\text{cal}}$ ”, correspondiente a la razón de emisiones en frío sobre las de tipo caliente. Este factor se aplica a la fracción del viaje en frío y depende de la temperatura ambiental, rangos de velocidad y del contaminante considerado. Las expresiones utilizadas para el cálculo de esta razón se muestran en la **Ecuación 9**. El otro parámetro importante corresponde al “ F_{viaje} ” o fracción del viaje que se considera realizada en frío. Este depende de la temperatura y del modo de conducción, en particular del largo del viaje promedio asignado y está dado por la siguiente ecuación:

$$F_{\text{viaje}} = 0.6474 - 0.02545 * LV_k - (0.00975 - 0.000384 * LV_k) * T_m \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

F_{viaje} : Fracción de un viaje efectuado por un vehículo con el motor en frío dependiente de T_m y LV_k .

LV_k : Largo de un viaje promedio para un vehículo de categoría k .

T_m : Temperatura promedio del mes m .

Tabla 10. Razón de Emisión $e_{\text{frío}}/e_{\text{cal}}$ por partidas en frío

Vehículos livianos de pasajeros a gasolina convencionales	Temperatura (°C)		$e_{\text{frío}} / e_{\text{cal}}$		
CO	-10 : 30		3,7 - 0,09 * ta		
NOx	-10 : 30		1,14 - 0,006 * ta		
HCT	-10 : 30		2,8 - 0,06 *ta		
Vehículos livianos de pasajeros a gasolina Euro I, !.4 2.0 litros	Velocidad	T°C	$e_{\text{frío}} / e_{\text{cal}} = AxV + BxT^{\circ} + C$		
			A	B	C
CO	5-25	-20 : 15	0.121	-0.146	3.766
	26-45	-20 : 15	0.299	-0.286	-0.58
	5-45	>15	0.0503	-0.363	8.604
NOx	5-25	>-20	0.0458	0.00747	0.764
	26-45	>-20	0.0484	0.028	0.685
HCT	5-45	-20 : 15	0.0157	-0.207	7.009
	26-45	-20 : 15	0.282	-0.338	4.098
	5-45	>15	0.0476	-0.477	13.44

Fte.: COPERT⁶, 2001.

3.1.2.4 Metodología de cálculo de emisiones proveniente del desgaste de frenos y neumáticos

La metodología utilizada para calcular las emisiones de material particulado producto del desgaste de frenos y de neumáticos se resume en las siguientes ecuaciones:

$$MP_{\text{frenos}} = 0.0128 * PSBRK \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde, PSBRK es la fracción del particulado menor o igual al punto de corte involucrado. Para el caso de PM10 corresponde al 98% (0.98).

$$MP_{\text{neumáticos}} = 0.002 * PSTIRE * N^{\circ}neum \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde *PSTIRE* corresponde a la fracción del particulado menor o igual al punto de corte involucrado que para el caso de PM10 corresponde al 100% y el *N^oneum* corresponde al número de neumáticos promedio utilizado por la categoría evaluada.

⁶ Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1), 2001.

3.1.2.5 Metodología de cálculo de emisiones de polvo resuspendido desde calles pavimentadas

A continuación se describe la metodología de estimación de emisiones proveniente de la resuspensión de material particulado sobre calles pavimentadas, metodología presentada en la última edición del AP-42, correspondiente a diciembre de 2003⁷.

$$E_{pa} = E_d(1 - P/4N) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Con, } E_d = e * F * L \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde,

E_{pa} : tasa de emisión anual (o del período bajo estudio) de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/año].

E_d : tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/día].

p : días con precipitaciones mayores de 0.254 mm. durante el periodo considerado.

N : número de días del periodo de estudio (365 en el caso anual)

e : factor de emisión de partículas por calles [g/vehículo-km].

F : flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : longitud del tramo [km].

3.1.3 Factores de emisión de fuentes móviles en ruta

Las emisiones vehiculares dependen de múltiples variables, razón por la cual, seleccionar factores de emisión adecuados para una ciudad es sin duda una tarea compleja. En el presente estudio los desarrollos de más de una década disponibles en la Región Metropolitana permiten abordar de mejor forma esta tarea.

Idealmente, y sobre todo en ciudades donde el sector transporte tiene un alto impacto en la contaminación atmosférica, es recomendable emprender un esfuerzo para realizar mediciones a nivel local, dado que los factores de emisión que se usan internacionalmente no representan adecuadamente aquellos elementos propios de cada ciudad y que pueden ser determinantes en los niveles de emisión. Por otra parte, los factores de emisión determinados en forma experimental en Chile, son representativos de ciclos de marcha del Gran Santiago y, por lo tanto, también podrían experimentar diferencias en otras ciudades del país. Ejemplificando situaciones que determinan la diferencia entre emisiones de dos tipos de vehículos de características tecnológicas similares, basta mencionar que los niveles de emisión de dichos vehículos experimentarán diferencias explicadas por su estado de mantención, la forma de operación, etc.

⁷ <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

Las emisiones vehiculares tienen su origen en tres dimensiones diferentes: tecnología vehicular, forma de uso de la tecnología (mantención, patrón de conducción, etc) y combustible usado (tipo y calidad). Los modelos de factores de emisión buscan identificar las variables que impactan en las emisiones y cuantificarlas de forma tal que los usuarios puedan estimar factores de emisión que son producto de una serie de parámetros de entrada. Algunas de las variables que se deben considerar a la hora de seleccionar factores de emisión adecuados se presentan a continuación:

- Tecnología (vehículos con o sin convertidor catalítico, tipos de certificación de emisiones, sistemas de control, etc)
- Ciclo de Marcha: Se refiere a la forma de circulación en cada ciudad, considera las velocidades medias, detenciones, aceleraciones, partidas en frío, etc)
- Antigüedad del parque vehicular
- Kilometraje promedio anual por categoría
- Estado de Mantención (existencia de revisiones técnicas obligatorias, por ejemplo)
- Calidad de los combustibles: Composición, contenidos de azufre, plomo, benceno, etc.
- Aspectos meteorológicos y geográficos.
- Otros: Sistema de transmisión, aire acondicionado, etc.

El parque automotor chileno, y por consiguiente el de las ciudades objeto de este estudio, es mucho más parecido al europeo y japonés que al de EUA, por lo tanto, se han de considerar principalmente los factores de emisión propuestos en el estudio europeo COPERT III para la estimación de las emisiones vehiculares en caliente, emisiones evaporativas y emisiones por partidas en frío, considerando los factores de emisión locales que se han desarrollado en nuestro país y los factores de corrección que se puedan calcular por mejoras en las características de los combustibles y ajustes por factores de deterioro especialmente en lo que respecta al deterioro de los catalíticos.

El modelo COPERT tiene la ventaja de que en su documentación deja conocer las ecuaciones que relacionan el tipo de vehículo y la velocidad promedio con el factor de emisión, siendo además la base de todos los estudios realizados a la fecha en Chile.

Actualmente se han generado curvas de emisiones para todas las categorías vehiculares, teniendo como referencia el estudio “Actualización de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana”⁸, estudio “Actualización del Modelo de Cálculo de Emisiones Vehiculares”⁹, “Hot Emission Model for Mobile Sources: Application to the Metropolitan Region of the City of Santiago, Chile”¹⁰.

Para el caso de las emisiones de material particulado provenientes de la resuspensión de polvo desde calles pavimentadas y desgaste de frenos y neumáticos, los factores de emisión

⁸ Conama RM – Diciembre 2000

⁹ Sectra – Enero 2002

¹⁰ Corvalan&Osse, Urrutia “Journal of the Air Waste Management Association (ISSN 1047-3289), 2002

proviene de las metodologías indicadas por el AP42 de la EPA, metodologías que han sido aplicadas en los inventarios de emisiones de la Región Metropolitana en estudios de Conama RM¹¹. Respecto a los factores de especiación de material particulado en PM10 y PM2.5, estos se basan en los perfiles de especiación de la última actualización del SPECIATE (versión 3.2) de la EPA.

Cabe mencionar que CONAMA RM y SECTRA están ejecutando en la actualidad estudios asociados a la generación de nuevos factores de emisiones locales, tanto de vehículos livianos como de transporte público y vehículos pesados. Durante la ejecución del presente estudio no se han finalizado estos estudios, pero se recomienda que para actualizaciones futuras de los inventarios de emisiones se considere la revisión de estos estudios.

3.1.3.1 Factores de emisión de los tipos de descargas considerados en el inventario

A continuación se presentan una serie de tablas con los factores de emisión utilizados en este estudio para los siguientes elementos: (PM10) – (PM2.5) – (CO) – (HCT) – (NOx) – (SO2) – (CO2) – (CH4) – (N2O) – (NH3) – y Consumo de Combustible (CC), cada uno de ellos considerados para cada categoría de vehículos asociados a distintos tipos de emisión según corresponda.

Factores para emisiones evaporativas

La tabla siguiente muestra los factores de emisión utilizados para la estimación de emisiones evaporativas.

Tabla 11. Factores de emisión para estimar emisiones evaporativas en vehículos de ciclo Otto (basados en COPERT II)

Factor de emisión	Unidades	Vehículos no controlados (sin dispositivo canister)	Vehículos controlados (dotados con canister)
Diurnal	[gr/día]	$9,1 * \exp(0,0158 * (RVP - 61,2) + 0,0574 * (t_{min} - 22,5) + 0,0614 * (t_{inc} - 11,7))$	0,2 * (no controlado)
Warm soak	[gr/detención]	$\exp(-1,644 + 0,01993 * RVP + 0,07521)$	$0,2 * \exp(-2,41 + 0,02302 * RVP + 0,09408 * t_a)$
Hot soak	[gr/detención]	$3,0042 * \exp(0,02 * RVP)$	$0,5 * 0,3 * \exp(-2,41 + 0,02302 * RVP + 0,09408 * t_a)$
Hot soak y Warm soak (vehículos con inyección de combustible)	[gr/detención]	0,7	No aplicable
Warm Running losses	[gr/km]	$0,1 * \exp(-5,967 + 0,04259 * RVP + 0,1773 * t_a)$	0,1 * (no controlado)
Hot Running losses	[gr/km]	$0,136 * \exp(-5,967 + 0,04259 * RVP + 0,1773 * t_a)$	0,1 * (no controlado)

Notas: t_a : temperatura ambiente

¹¹ “Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana”, 2000. “Modelo de Dispersión de Contaminantes para la Región Metropolitana”, 2004.

t_{inc} : incremento de temperatura ambiente a lo largo del día
 t_{min} : temperatura ambiente mínima
RVP: presión de vapor Reid del combustible

Factores de Emisión de Polvo de Calles Pavimentadas

Los factores de emisión de polvo desde calles pavimentadas, ecuación de cálculo de emisiones incorporadas a MODEM II, corresponden a las versiones de diciembre del año 2003 del AP-42 de la EPA relativo a fuentes misceláneas de emisiones de polvo fugitivo desde calles pavimentadas¹².

El factor de emisión se puede obtener de la siguiente forma:

$$e = k \left(\frac{Sp}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{W}{3} \right)^{1.5}$$

Ecuación 14

Donde,

Sp : contenido de material fino, fracción de polvo de diámetro ≤ 75 micrones [g/m^2].

k : constante, depende del tamaño de partícula a considerar [gr/VKT]¹³.

W : peso promedio de la categoría de vehículo en movimiento [ton].

El valor de la constante k varía según el tamaño de partícula como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 12. Valores de k, según tamaño de partícula

Tamaño de partícula	Valores de k en [gr/VKT].
PM 2.5	1.1
PM 10	4.6
PM 15	5.5
PM 30*	24

* Se asocia a PTS.

Fte.: AP42.

Respecto a la carga de sedimentos de material fino de la superficie del camino, debido a la carencia de estudios sobre el tema en la mayoría de las ciudades de Chile, se evaluará considerar los valores por defecto del AP-42 Capítulo 13, Cuadro 13.2.1-3, valores que se indican en la siguiente tabla.

¹² <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

¹³ VKT: Kilómetros recorridos totales de los vehículos

Tabla 13. Carga de finos

Flujo vehicular (v/día)	≤ 500	> 500 ≤ 10.000	> 10.000
Carga de finos (g/m ²)	0,6	0,11*	0,03

* En AP-42 se encuentra separado en flujos entre 500-5000 y 5000-10000, con valores de 0,2 y 0,06 respectivamente.

Fte.: AP42.

Factores de Especiación por Tamaño de Material Particulado

Respecto a la especiación de material particulado en PM₁₀ y PM_{2,5}, se consideran los perfiles de especiación del AP-42 de la EPA, valores que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 14. Especiación de particulado para tubo de escape

Tipo de Vehículo	PM10	PM2.5
Vehículos a diesel	100%	92%

Fte.: SPECIATE 3.2, EPA.

Factores de emisión de fuentes móviles en ruta

Tabla 15. Factores de Emisión para Vehículos Livianos de pasajeros y Taxis

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)	
Vehículos particulares livianos sin convertidor catalítico. (sin normas de emisión)	CO	$0.0203 * V^2 - 2.2662 * V + 77.661$	
	HCT	$11.589 * V^{-0.5595}$	
	NO _x	$9.5 * 10^{-6} * V^3 - 0.0016 * V^2 + 0.0738 * V + 1.2586$	
	SO ₂	(1)	
Taxis sin convertidor catalítico (sin normas de emisión)	CO ₂	(2)	
	CH ₄	$3.31 * 10^{-5} * V^2 - 0.00573 * V + 0.268$	
	N ₂ O	0.005	
	NH ₃	0.002	
	CC	$595.76 * V^{-0.534}$	
	Vehículos particulares livianos con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior)	CO	$28.844 * V^{-0.8384}$
		HCT	$1.1851 * V^{-0.616}$
NO _x		$1.1 * 10^{-6} * V^3 - 0.0001677 * V^2 + 0.0031795 * V + 0.4835758$	
SO ₂		(1)	
CO ₂		(2)	
CH ₄		$1.1176 * 10^{-5} * V^2 - 0.00196 * V + 0.099652$	
N ₂ O		0.053	
Taxis con convertidor catalítico Tipo I. (EURO I o superior)	NH ₃	0.070	
	CC	$552.25 * V^{-0.5486}$	
	Vehículos particulares livianos otros ¹⁴ . (sin norma de emisión)	PM ₁₀	$(0.000058 * V^2 - 0.0086 * V + 0.45)$
		CO	$5.41301 * V^{-0.574}$
		HCT	$4.61 * V^{-0.937}$
NO _x		$0.000101 * V^2 - 0.014 * V + 0.918$	

¹⁴ Corresponde a vehículos particulares a diesel

	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$0.0000019 \cdot V^2 - 0.1775 \cdot V + 7.9936$
	N ₂ O	0.027
	NH ₃	0.001
	CC	$0.014 \cdot V^2 - 2.084 \cdot V + 118.489$

Tabla 16. Factores de Emisión para Vehículos Livianos Comerciales

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Vehículos livianos comerciales sin convertidor catalítico < 3.5 ton (sin normas de emisión)	CO	$0.01104 \cdot V^2 - 1.5132 \cdot V + 57.789$
	HCT	$0.000677 \cdot V^2 - 0.1170 \cdot V + 5.4734$
	NO _x	$0.0179 \cdot V + 1.9547$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.15
	N ₂ O	0.006
	NH ₃	0.002
Vehículos livianos comerciales con convertidor catalítico < 3.5 ton, Tipo I (EURO I o superior)	CO	$0.0037 \cdot V^2 - 0.5215 \cdot V + 19.127$
	HCT	$0.0000577 \cdot V^2 - 0.01047 \cdot V + 0.5462$
	NO _x	$0.0000755 \cdot V^2 - 0.009 \cdot V + 0.666$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$1.2969 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0021098 \cdot V + 0.101995$
	N ₂ O	0.053
	NH ₃	0.07
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton, Tipo I (sin normas de emisión)	PM ₁₀	$(0.000045 \cdot V^2 - 0.004885 \cdot V + 0.1932)$
	CO	$0.000223 \cdot V^2 - 0.026 \cdot V + 1.076$
	HCT	$0.0000175 \cdot V^2 - 0.00284 \cdot V + 0.2162$
	NO _x	$0.000241 \cdot V^2 - 0.03181 \cdot V + 2.0247$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.005
	N ₂ O	0.017
	NH ₃	0.001
	CC	$0.0198 \cdot V^2 - 2.506 \cdot V + 137.42$
Vehículos livianos comerciales diesel < 3.5 ton (EURO I o superior), Tipo II	PM ₁₀	$(0.00003015 \cdot V^2 - 0.00327295 \cdot V + 0.12944)$
	CO	$0.00018286 \cdot V^2 - 0.02132 \cdot V + 0.88232$
	HCT	$0.00001085 \cdot V^2 - 0.0017608 \cdot V + 0.134044$
	NO _x	$0.00020244 \cdot V^2 - 0.0267204 \cdot V + 1.660254$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.005
	N ₂ O	0.017
	NH ₃	0.001
	CC	$0.0198 \cdot V^2 - 2.506 \cdot V + 137.42$

Tabla 17. Factores de Emisión para Camiones Livianos

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Camiones livianos Tipo I Convencionales <7.5 t (sin normas de emisión)	PM ₁₀	$4.5563 * V^{-0.707}$
	CO	$37.280 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.120 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$50.305 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0014 * V^2 - 0.1737 * V + 7.5506$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.085
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$
	Camiones livianos Tipo II < 7.5 ton (EURO I o superior)	PM ₁₀
CO		$18.64 * V^{-0.6945}$
HCT		$30.09 * V^{-0.8774}$
NO _x		$35.2135 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00098 * V^2 - 0.12159 * V + 5.28542$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.06375
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$
Camiones livianos Tipo III < 7.5 ton (EURO II o superior)		PM ₁₀
	CO	$14.912 * V^{-0.6945}$
	HCT	$19.6585 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$25.1525 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.0007 * V^2 - 0.060795 * V + 3.7753$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.0595
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$
	Camiones livianos Tipo IV < 7.5 ton (EURO III o superior)	PM ₁₀
CO		$10.438 * V^{-0.6945}$
HCT		$14.7441 * V^{-0.8774}$
NO _x		$17.60675 * V^{-0.7708}$ (0 a 47 km/h) $0.00049 * V^2 - 0.060795 * V + 2.64271$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.04165
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1425.2 * V^{-0.7593}$ (0 a 47 km/h) $0.0082 * V^2 - 0.043 * V + 60.12$

Tabla 18. Factores de Emisión para Camiones Medianos

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Camiones Medianos Tipo I 7.5 – 16 ton (sin normas de emisión)	PM ₁₀	$9.6037 * V^{-0.7259}$
	CO	$37.28 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.12 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$92.584 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0006 * V^2 - 0.0941 * V + 7.7785$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.085
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
	Camiones Medianos Tipo II 7.5 – 16 ton (EURO I o superior)	PM ₁₀
CO		$18.64 * V^{-0.6945}$
HCT		$30.09 * V^{-0.8774}$
NO _x		$64.8088 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00042 * V^2 - 0.06587 * V + 5.44495$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.06375
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
Camiones Medianos Tipo III 7.5 – 16 ton (EURO II o superior)		PM ₁₀
	CO	$14.912 * V^{-0.6945}$
	HCT	$28.084 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$46.292 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.0003 * V^2 - 0.04705 * V + 3.88925$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.0595
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$
	Camiones Medianos Tipo IV 7.5 – 16 ton (EURO III o superior)	PM ₁₀
CO		$10.4384 * V^{-0.6945}$
HCT		$19.6588 * V^{-0.8774}$
NO _x		$32.4044 * V^{-0.7393}$ (0 a 60 km/h) $0.00021 * V^2 - 0.032935 * V + 2.722475$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.04165
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1068.4 * V^{-0.4905}$ (0 a 59 km/h) $0.0126 * V^2 - 0.6589 * V + 141.18$

Tabla 19. Factores de Emisión para Camiones Pesados

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Camiones Pesados Tipo I convencionales (sin normas de emisión)	PM ₁₀	$10.933 * V^{-0.7054}$
	CO	$37.280 * V^{-0.6945}$
	HCT	$40.12 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$116.16 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.175
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo II (EURO I o superior)	PM ₁₀	$7.10645 * V^{-0.7054}$
	CO	$20.504 * V^{-0.6945}$
	HCT	$20.06 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$63.888 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.0875
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo III (EURO II o superior)	PM ₁₀	$2.73325 * V^{-0.7054}$
	CO	$16.776 * V^{-0.6945}$
	HCT	$18.054 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$46.464 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.07875
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$
Camiones Pesados Tipo IV (EURO III o superior)	PM ₁₀	$1.913275 * V^{-0.7054}$
	CO	$11.7432 * V^{-0.6945}$
	HCT	$12.6378 * V^{-0.8774}$
	NO _x	$32.5248 * V^{-0.5859}$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.055125
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1678.7 * V^{-0.4593}$ (V<60 km/h) $0.051 * V^2 - 7.2508 * V + 506.71$

Tabla 20. Factores de Emisión para Buses Transporte Público, Rurales, Particulares e Institucionales

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTORES EMISION (gr/km)
Buses Transporte Público Convencionales (sin normas de emisión)	PM ₁₀	12.09253*V ^{-0.7360}
	CO	59.003*V ^{-0.7447}
	HCT	43.647*V ^{-1.0301}
	NO _x	89.174*V ^{-0.5185}
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.175
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	864.1*V ^{-0.4318}
Buses Transporte Público EURO I	PM ₁₀	5.109585*V ^{-0.7360}
	CO	29.5015*V ^{-0.7447}
	HCT	32.73525*V ^{-1.0301}
	NO _x	62.4218*V ^{-0.5185}
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.13125
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	1001.3*V ^{-0.4318}
Buses Transporte Publico EURO II	PM ₁₀	3.14436*V ^{-0.7360}
	CO	23.6012*V ^{-0.7447}
	HCT	30.5529*V ^{-1.0301}
	NO _x	44.587*V ^{-0.5185}
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.1225
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	1645.9*V ^{-0.4318}
Buses Transporte Publico EURO III	PM ₁₀	2.201052*V ^{-0.7360}
	CO	16.52084*V ^{-0.7447}
	HCT	21.38703*V ^{-1.0301}
	NO _x	31.2109*V ^{-0.5185}
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.08575
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	1645.9*V ^{-0.4318}

Tabla 21. Factores de Emisión para Buses Interurbanos

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTOR EMISION (gr/km)
Buses Interurbanos Convencionales (sin normas de emisión)	PM ₁₀	$9.2934 * V^{-0.7373}$
	CO	$63.791 * V^{-0.8393}$
	HCT	$44.217 * V^{-0.8870}$
	NO _x	$125.87 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.0010 * V^2 - 0.1608 * V + 14.308$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.175
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398 * V^2 - 6.294 * V + 425$
	Buses Interurbanos Euro I	PM ₁₀
CO		$35.08505 * V^{-0.8393}$
HCT		$22.1085 * V^{-0.8870}$
NO _x		$69.2285 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.00055 * V^2 - 0.08844 * V + 7.8694$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.0875
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398 * V^2 - 6.294 * V + 425$
Buses Interurbanos EURO II		PM ₁₀
	CO	$28.70595 * V^{-0.8393}$
	HCT	$19.89765 * V^{-0.8870}$
	NO _x	$50.348 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.0004 * V^2 - 0.06432 * V + 5.7232$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.07875
	N ₂ O	0.03
	NH ₃	0.003
	CC	$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398 * V^2 - 6.294 * V + 425$
	Buses Interurbanos EURO III	PM ₁₀
CO		$20.0942 * V^{-0.8393}$
HCT		$13.928355 * V^{-0.8870}$
NO _x		$35.2436 * V^{-0.6562}$ (V<60 km/h) $0.00028 * V^2 - 0.045024 * V + 4.00624$
SO ₂		(1)
CO ₂		(2)
CH ₄		0.055125
N ₂ O		0.03
NH ₃		0.003
CC		$1708 * V^{-0.5396}$ (V<60 km/h) $0.0398 * V^2 - 6.294 * V + 425$

Tabla 22. Factores de Emisión para Motocicletas

CATEGORIA	CONTAMINANTE	FACTORES EMISION (gr/km)
Motocicletas 2 tiempos Convencional	CO	$-0.001*V^2+0.172*V+18.1$ (V<60 km/h) $0.0001*V^2 - 0.05*V +21.5$
	HCT	$0.0035*V^2-0.409*V+20.1$ (V<60 km/h) $0.0003*V^2 - 0.0524*V + 10.6$
	NO _x	$0.00003*V^2-0.002*V+0.064$ (V<60 km/h) $-0.00002*V^2 -0.0049*V - 0.157$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.15
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$0.006300*V^2-0.6028*V+44.40$ (V<60 km/h) $-0.0005*V^2 +0.2375*V + 18.2$
Motocicletas 2 tiempos Tipo I	CO	$-0.0063*V^2+0.715*V-6.9$ (V<60 km/h) $0.0007*V^2 +0.157*V +6.0$
	HCT	$-0.00100*V^2+0.0970*V+3.90$ (V<60 km/h) $-0.0003*V^2 + 0.0325*V + 5.2$
	NO _x	$0.00002*V^2-0.0010*V+0.032$ (V<60 km/h) $-0.00002*V^2 +0.0041*V - 0.152$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.15
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$-0.0011*V^2+0.2008*V+17.8$ (V<60 km/h) $-0.001*V^2 +0.2425*V + 14.6$
Motocicletas 4 tiempos Convencional	CO	$0.0139*V^2-1.42*V+55.0$ (V<60 km/h) $0.0009*V^2 + 0.0099*V +17.8$
	HCT	$0.0015*V^2-0.164*V+5.51$ (V<60 km/h) $0.00001*V^2 +0.0005*V + 0.86$
	NO _x	$0.00005*V^2-0.0009*V+0.092$ (V<60 km/h) $0.00002*V^2 +0.0007*V +0.104$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.2
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$0.02730*V^2-2.8490*V+98.90$ (V<60 km/h) $0.00210*V^2 -0.1550*V + 29.20$
Motocicletas 4 tiempos Tipo I	CO	$0.00760*V^2-0.7300*V+23.50$ (V<60 km/h) $0.001*V^2 +0.051*V+0.8$
	HCT	$0.00070*V^2-0.0755*V+2.630$ (V<60 km/h) $0.00007*V^2 - 0.0152*V + 1.19$
	NO _x	$0.00005*V^2-0.0007*V+0.137$ (V<60 km/h) $0.00002*V^2 +0.001*V + 0.143$
	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	0.2
	N ₂ O	0.002
	NH ₃	0.002
	CC	$0.02000*V^2-2.0750*V+77.10$ (V<60 km/h) $0.0013*V^2 -0.0391*V + 23.5$

(1) y (2): A continuación se describirá el procedimiento de cálculo de emisiones de SO₂ y de CO₂

3.1.4 Emisiones de CO₂ y SO₂

Estas emisiones están directamente relacionadas con los consumos de combustible, asumiéndose para el cálculo de CO₂, que todo el carbono contenido en el combustible es oxidado.

$$ECO_2 = 44.011 \times (CC/12.011 + 1.008 \times r \text{ H:C}) - (ECO/28.011) - (EHCT/13.85) - (EMP/12.011)$$

Ecuación 15

Donde,

CC	=	Consumo de Combustible
ECO	=	Emisiones de CO
EHCT	=	Emisiones de HCT
EMP	=	Emisiones de Material Particulado
r H:C	=	Relación entre el hidrogeno y carbono existente en el combustible 1.8 para gasolina; 2.0 para diesel

En el cálculo de las emisiones de SO₂ se asume que todo el contenido de azufre (S) en el combustible se transforma completamente en SO₂, si consideramos que el peso atómico del azufre es 32 y el del oxígeno 16, el peso final será entonces el doble que el del azufre, siendo su fórmula de cálculo la siguiente:

$$ESO_2 = 2 \times CC \times S_{comb}$$

Ecuación 16

Donde,

CC	=	Consumo de Combustible
S _{comb}	=	Contenido de azufre en el combustible (en peso m/m)

3.1.5 Corrección de factores de emisión

3.1.5.1 Corrección por mejoras en combustibles

En base a las metodologías de corrección de factores de emisión indicadas en COPERT III, es factible hacer correcciones a los factores de material particulado, NO_x, CO y VOC de acuerdo a las mejoras en la composición de los combustibles, mediante la siguiente ecuación:

$$FE_{Corr} = (F'_{Corr} / F_{Corr}) \times FE$$

Ecuación 17

En donde,

FE_{Corr} = factor de emisión corregido

F'_{Corr} = factor de corrección de vehículos diesel asociado a mejora de combustibles

Página 48 de 48

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl
www.solucionesambientales.cl

F_{Corr} = factor de corrección base de vehículos diesel
 FE = factor de emisión original

Las ecuaciones de factores de corrección en base a los parámetros asociadas a las características de los combustibles se diferencian en vehículos pesados a diesel y vehículos livianos a diesel, cuyas ecuaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23. Ecuaciones asociadas a factores de corrección de vehículos a diesel¹⁵

<p>Veh. Pesados a diesel: $F_{Corr} = [0,06959 + 0,00006 \cdot DEN + 0,00065 \cdot PAH - 0,00001 \cdot CN] \cdot [1 - 0,0086 \cdot (450 - S)/100]$ <p style="text-align: right;">Ecuación 18</p> </p>
<p>Veh. Livianos y pasajeros a diesel: $F_{Corr} = [-0,3879873 + 0,0004677 \cdot DEN + 0,0004488 \cdot PAH + 0,0004098 \cdot CN + 0,0000788 \cdot T95] \cdot [1 - 0,015 \cdot (450 - S)/100]$ <p style="text-align: right;">Ecuación 19</p> </p>
<p>Donde: DEN = Density at 15°C [kg/m³] S = Sulphur content in ppm PAH = Polycyclic aromatics content in % CN = Cetane number T95 = Back end distillation in °C</p>

3.1.5.2 Factores de deterioro

En nuestro país, el modelo de emisiones MODEM ha sido desarrollado especialmente para la elaboración de inventarios de emisiones vehiculares y es ampliamente utilizado por organismos estatales para investigación y desarrollo. Este modelo basa la estimación de emisiones a través de la definición del nivel de actividad de cada categoría vehicular y las emisiones unitarias (factores de emisión) asociadas a éstas.

Los factores de emisión utilizados en Chile para la generación de inventarios de vehículos son emisiones unitarias generalmente expresadas en gramos de contaminante arrojados por el tubo de escape por cada kilómetro recorrido por el vehículo. La metodología utilizada para determinar estos factores de emisión en gramos/kilómetro ha requerido históricamente de un completo laboratorio equipado con dinamómetro de chasis, analizadores de gases y partículas, túnel de dilución, muestreador de volumen constante, y la aplicación de ciclos de conducción. La medición de emisiones se realiza mientras el vehículo es llevado a través de un ciclo de conducción característico, simulando la carga que el vehículo experimentaría en condiciones reales, usando una combinación de sistemas eléctricos y ruedas de inercia. Este trabajo es costoso y en Chile sólo se ha llevado a cabo durante un corto periodo utilizando el Centro de Control y Certificación vehicular del MTT en Santiago para caracterizar emisiones de vehículos en uso. La metodología en Chile fue desarrollada a partir del año 1997 con los primeros estudios de factores de emisión representativos de los vehículos livianos de Santiago. En los inventarios nacionales se han utilizado factores de emisión (en gr/km) provenientes de

¹⁵ Ecuaciones ocupadas para F_{Corr} y F'_{Corr}

la literatura internacional (fundamentalmente europea) y también se han determinado curvas de emisión a nivel nacional representativas de la capital chilena, lo que se encuentra ampliamente reportado en los informes del estudio “Mejoramiento del Inventario de Emisiones Atmosférica de la Región Metropolitana”, realizado para CONAMA RM. En este estudio, se generaron factores de emisión nacionales a través de la ejecución de programas experimentales locales y se validaron factores de emisión provenientes de la literatura internacional.

En resumen, los factores de emisión utilizados en dicho estudio provienen en su mayoría del modelo europeo COPERT en sus versiones II y III, así como también de mediciones experimentales realizadas en Chile sobre una muestra superior a 160 vehículos livianos con más de 2000 ensayos válidos bajo diferentes condiciones de operación (diferentes modos de conducción internacionales y nacionales).

De lo anterior, se deduce que los factores de emisión utilizados en los inventarios nacionales, en su mayoría, corresponden a aquellos tomados de la literatura europea y no necesariamente coinciden con nuestra realidad, por lo que existe una alta probabilidad de estar subestimados. Se suma el hecho de que los pocos valores nacionales han sido desarrollados con muestras de vehículos que pertenecen al parque de la Región Metropolitana, donde históricamente ha existido un grave problema de contaminación atmosférica, que ha redundado en que las campañas de fiscalización y plantas de revisión técnica han sido más rigurosas que en otras regiones haciendo del parque de la Región Metropolitana un parque mejor cuidado y con menos emisiones contaminantes en promedio que el que pudiera existir en Temuco.

Por otro lado, existen muchos ciclos de conducción que han sido desarrollados y utilizados para simular patrones de manejo en condiciones de congestión urbana o de flujo libre en carreteras, sin embargo estos ciclos han sido criticados por no representar adecuadamente las condiciones existentes en las rutas reales. Por ejemplo, muchos ciclos de laboratorio no incluyen cambios bruscos de aceleración, los cuales son característicos de altos niveles de emisión de Material Particulado y NOx. Este hecho también trae más incertidumbre al considerar que los pocos factores de emisión que han sido desarrollados en Chile para vehículos livianos lo han hecho considerando ciclos de conducción que fueron también obtenidos sólo con condiciones de conducción de la capital y no necesariamente representan con certeza la forma de conducción de Temuco.

Es claro que las emisiones vehiculares varían considerablemente de un vehículo a otro o de un instante a otro dependiendo de innumerables factores como pueden ser estado de mantención, tecnología del vehículo, hábitos de conducción, condiciones ambientales, carga, etc. Lo anterior también plantea la necesidad y el desafío de que en el futuro se puedan distinguir diferencias entre ciudades.

Respecto a una posible subestimación de los factores de emisión de vehículos que han sido históricamente utilizados para la generación de inventarios de emisiones de fuentes móviles en

Chile, esta subestimación estaría representada en forma explícita en cada uno de los inventarios de emisiones de Chile, en todas las ciudades en las que se ha aplicado la metodología MODEM por igual, por lo que no se trataría de un caso especial para la ciudad de Temuco. Incorporar un valor corrector para aumentar el nivel de emisiones del inventario de Temuco desarrollado en este estudio no sería la forma más adecuada de enfrentar este inconveniente (subestimación generalizada en Chile).

En particular, si se quisiera realizar un trabajo de adecuación al respecto, se recomienda tomar toda la base de datos nacional de PRTs, realizar un completo análisis respecto a las posibles diferencias que podrían encontrarse entre cada una de las regiones o ciudades del país y en función de esas diferencias, entre regiones o ciudades, concluir un factor de corrección aplicable sobre los factores de emisión (en unidades máscas – gramos), utilizados en forma igualitaria en los diferentes inventarios realizados en nuestro país, que identifique, resalte o aumente los niveles de emisión de una ciudad con respecto a otra, si realmente existiera una diferencia notable entre una ciudad y otra, sin embargo lo anterior escapa a los alcances de este estudio.

Antes de intentar cualquier corrección a los factores de emisión en los términos antes señalados, se recomienda esperar las conclusiones de dos estudios, actualmente en ejecución:

“ACTUALIZACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN PARA VEHÍCULOS LIVIANOS Y MEDIANOS” e “INVESTIGACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN PARA VEHÍCULOS DE CARGA”, ambos desarrollados por la Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte, SECTRA.

Los objetivos fundamentales del estudio son la actualización de los factores de emisión para vehículos livianos, medianos y de carga **representativos de la realidad nacional**. El resultado de los estudios nombrados será de suma utilidad para la elaboración de los inventarios de emisiones y la corrección de aquellos cálculos realizados con factores de emisión poco representativos y que se crean fundadamente subestimados.

Otro tema en cuestión, y que sí puede ser considerada una corrección en base a información disponible, se refiere al incremento en emisiones vehiculares producto del deterioro. Al respecto, hay que considerar que los factores de emisión de vehículos livianos del tipo sedan y station wagon obtenidos a través de los programas experimentales locales efectuados en los laboratorios del 3CV, fueron obtenidos con una muestra de vehículos correspondiente a una flota de vehículos con años de inscripción que van desde 1993 hasta 1998, por lo tanto, se hace necesario en la actualidad aplicarles un factor de corrección que represente el deterioro asociado, sobre todo el deterioro del convertidor catalítico. Así también, los factores de emisión de vehículos livianos del tipo jeep, camioneta y furgón gasolineras y diesel, obtenidos del modelo COPERT, son representativos de una flota de vehículos de en promedio de 130 mil kilómetros recorridos, lo que implica una antigüedad promedio de 5 años. Por lo tanto, estos factores deberían también ser corregidos por deterioro.

Al respecto, dentro del estudio ejecutado por CONAMA RM denominado “Evaluación de Nuevas Medidas de Control de Emisiones para el Sector Transporte en la Región Metropolitana” se estudió la manera de poder obtener los factores de deterioro mencionados. Se efectuó una revisión de estudios relacionados a factores de deterioro a nivel nacional¹⁶ e internacional¹⁷, en donde dentro de esta última revisión se plantea, por ejemplo, utilizar un deterioro anual de vehículos con convertidor catalítico de 13% para Nox y 16% para CO y HC.

El estudio de CONAMA RM concluyó que haciendo un seguimiento a una muestra de vehículos registrados por los últimos 10 años por los procedimientos seguidos en las plantas de revisión técnica de la Región Metropolitana (seguimientos por placas patentes equivalentes en cada año), es decir, haciendo el seguimiento a las mediciones obtenidas en cada año para cada vehículo específico, se pueden obtener indicadores de la evolución del deterioro del vehículo desde el punto de vista de sus emisiones y obtener de esta forma porcentajes promedio de deterioro anual para CO y HC por tipo de vehículo.

Además de la información de las mediciones efectuadas en las plantas de revisión técnicas, se utilizó información de mediciones hechas en el 3CV desde el año 1997 a la fecha para vehículos nuevos. A partir de estas revisiones, dentro de dicho estudio se obtuvieron factores de deterioro para vehículos gasolineros con y sin convertidor catalítico y vehículos diesel para emisiones de CO, NOX y HCT. Finalmente se obtuvo un factor de emisión corregido por deterioro para cada categoría de vehículo liviano considerado.

La siguiente tabla resume los porcentajes de deterioro anual por contaminante asociados a cada categoría vehicular para vehículos livianos en el estudio antes señalado. Estos valores indican el porcentaje de deterioro anual que experimentan en promedio los vehículos livianos según tecnología.

Tabla 24. Resumen de factores de deterioro anual por contaminante y tipo de vehículo

Particulares		Contaminante		
		CO	NOX	HCT
Gasolina	Catalíticos	8%	9%	4%
	No Catalíticos	2%	4%	2%
Comerciales				
Gasolina	Catalíticos	6%	12%	3%
	No Catalíticos	1%	5%	3%
Diesel	Con sello verde	8%	9%	4%
	Sin sello verde	2%	4%	2%

Fuente: Estudio “Evaluación de Nuevas Medidas de Control de Emisiones para el Sector Transporte en la Región Metropolitana”, CONAMA RM, 2007.

¹⁶ Experimental analysis of emission deterioration factors for light duty catalytic vehicles. Case study: Santiago, Chile”, 2003, Roberto M. Corvalán, David Vargas, Universidad de Chile.

¹⁷ “ Analysis of emissions deterioration using Ohio and Wisconsin IM240 data”, EOA, entre otros estudios.

Así, para el escenario 2005, los vehículos cuyo año de fabricación es 2005 no tienen deterioro, pero hacia atrás los vehículos de más antigüedad se van deteriorando anualmente por el porcentaje citado en la tabla anterior. Por ejemplo, para el CO, los vehículos catalíticos fabricados el 2005 no tienen deterioro; los vehículos fabricados el año 2004 tendrían un deterioro igual a 1,08; los vehículos fabricados el año 2003 tendrían un deterioro igual a 1,08 multiplicado por el deterioro de los vehículos del año 2004.

Si bien estos valores fueron obtenidos a partir del procesamiento de registros de las PRT de la Región Metropolitana, para el caso de Temuco y Padre Las Casas se utilizaron estos mismos deterioros porcentuales llevándolos a la realidad local obteniéndose factores de emisión deteriorados anualmente ponderados por la participación del parque por antigüedad anual de los vehículos que circulan por Temuco y Padre Las Casas.

Desde el punto de vista operativo, los factores de emisión que son incorporados al modelo de emisiones vehiculares MODEM II, utilizado en el presente estudio, son los mismos factores por tipo de vehículo y tecnología presentados en la sección de factores de emisión de fuentes móviles (sección 3.1.3.1 Factores de emisión de los tipos de descargas considerados en el inventario) multiplicados por un **factor de corrección por deterioro** representativo del tipo de vehículo o sub-categoría vehicular, de todos los vehículos que circulan en la zona de estudio considerando los distintos parques que lo componen. Este factor de corrección por deterioro es obtenido aplicando los porcentajes de deterioro anual entregados en la **Tabla 24** a cada categoría de vehículo según su antigüedad y tecnología vehicular.

Los factores de corrección representativos del parque de Temuco y Padre Las Casas, obtenidos luego del procesamiento descrito, se presentan en la siguiente tabla. Como se mencionó anteriormente, estos factores de corrección se multiplican por los factores de emisión originales que se encuentran ingresados en MODEM, y representan los factores de corrección que se aplicaron, en el marco del presente estudio, a los actuales factores de emisión que han sido utilizados en los inventarios de emisiones nacionales.

Tabla 25. Factores de corrección por deterioro, escenario 2005, Temuco y Padre Las Casas.

Sub categoría	CO	NOx	HC
Vehículos Particulares Cat. Tipo 1	1,81	0,76	1,80
Vehículos Particulares Cat. Tipo 2	0,52	0,37	3,28
Vehículos Particulares No Catalíticos	1,19	1,55	1,19
Vehículos de Alquiler Cat. Tipo 1	1,48	0,67	1,47
Vehículos de Alquiler Cat. Tipo 2	0,52	0,37	3,28
Vehículos de Alquiler No Catalíticos	1,08	1,27	1,08
Vehículos Comerciales Cat. Tipo 1	2,50	0,89	1,21
Vehículos Comerciales Cat. Tipo 2	1,72	0,34	1,13
Vehículos Comerciales No Catalíticos	3,11	1,73	2,94
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1	0,86	0,86	0,58
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2	1,70	0,32	0,81
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1	1,36	0,55	1,38
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 2	0,52	0,37	3,28
Taxis Colectivos No Catalíticos	1,09	1,28	1,09

3.1.6 Cálculo de emisiones

La tabla siguiente muestra las emisiones calculadas con MODEM II para Temuco y Padre Las Casas, correspondientes al escenario base 2005. Estos valores representan las emisiones correspondientes a procesos de combustión dado el funcionamiento del vehículo. Los valores detallados por tipo de descarga, así como también las emisiones asociadas a polvo resuspendido por el paso del vehículo o por el desgaste de frenos y neumáticos se presentan en Anexo E.

Tabla 26: Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2005

Categoría Vehicular	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀ (TE)	MP _{2,5} (TE)	CO (TE+PF)	NOX (TE+PF)	SO ₂ (TE)	NH ₃ (TE)	COV (TE+PF +EVAP)		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
Vehículos Particulares Cat. Tipo 1	0,55	0,51	826,04	55,82	2,02	8,66	93,87	32.194,11	11.355,81	123.687.706,47
Vehículos Particulares No Catalíticos	1,34	1,23	3.498,12	255,46	1,36	0,15	393,13	21.499,63	7.690,89	72.887.991,38
Vehículos de Alquiler Cat. Tipo 1	0,09	0,08	108,15	8,09	0,33	1,44	11,56	5.321,93	1.870,78	20.533.112,83
Vehículos de Alquiler No Catalíticos	0,08	0,08	178,91	12,91	0,08	0,01	15,70	1.320,57	460,89	4.504.427,44
Vehículos Comerciales Cat. Tipo 1	0,28	0,26	1.665,40	31,87	1,35	4,37	47,93	21.414,08	7.308,25	62.465.053,38
Vehículos Comerciales No Catalíticos	0,66	0,60	2.906,95	162,74	0,77	0,07	433,99	12.213,92	4.164,18	35.616.356,46
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 1	1,71	1,57	8,25	22,07	3,95	0,02	1,69	4.962,37	1.581,80	21.002.322,06
Vehículos Comerciales Diesel Tipo 2	0,04	0,04	0,46	0,23	0,13	0,00	0,05	169,32	53,97	716.871,38
Buses particulares	1,07	0,98	5,05	16,63	0,54	0,00	1,42	682,39	217,61	1.143.294,48
Camiones Livianos Diesel Convencional	1,55	1,42	13,22	13,28	0,99	0,01	7,64	1.253,78	400,86	3.958.691,83
Camiones Livianos Diesel Tipo 1	0,55	0,50	3,60	5,06	0,54	0,01	3,12	682,22	216,36	2.154.009,92
Camiones Livianos Diesel Tipo 2	0,12	0,11	1,05	1,48	0,20	0,00	0,75	250,14	79,74	788.111,47
Camiones Medianos Diesel Convenc.	3,14	2,89	13,56	28,90	1,95	0,01	7,86	2.444,13	780,04	4.025.657,57
Camiones Medianos Diesel Tipo 1	1,11	1,02	3,70	11,04	1,06	0,01	3,22	1.333,81	425,33	2.196.919,35
Camiones Medianos Diesel Tipo 2	0,25	0,23	1,09	2,90	0,39	0,00	1,11	491,14	156,62	808.130,38
Motos de Dos Tiempos Convencional	0,00	0,00	11,45	0,02	0,00	0,00	5,20	49,76	15,89	501.533,28
Motos de Cuatro Tiempos Convencional	0,00	0,00	38,22	0,21	0,01	0,00	2,81	179,66	56,93	1.616.434,61
Taxis Colectivos Catalíticos Tipo 1	0,21	0,20	301,12	16,41	0,92	3,34	30,84	14.616,18	5.138,05	47.762.562,20
Taxis Colectivos No Catalíticos	0,01	0,01	43,06	2,29	0,02	0,00	3,99	280,62	97,98	809.093,24
Taxis Colectivos otros	2,25	2,07	7,55	5,31	1,56	0,01	2,12	1.962,37	625,63	8.598.910,97
Taxibus Urbanos Diesel VTT	28,32	26,06	134,83	388,96	12,11	0,06	44,99	15.194,16	4.845,93	20.173.874,98
Taxibus Urbanos Diesel Tipo 1	5,60	5,16	31,57	127,49	6,57	0,03	15,80	8.247,23	2.629,39	9.446.404,30
Taxibus Urbanos Diesel Tipo 2	3,40	3,13	24,91	89,83	10,66	0,03	14,55	13.374,29	4.263,30	9.317.908,28
Camiones Pesados Diesel Convencional	0,56	0,51	1,98	9,18	0,53	0,00	1,10	660,34	210,52	675.466,21
Camiones Pesados Diesel Tipo 1	0,18	0,16	0,54	2,48	0,26	0,00	0,27	324,38	103,40	331.766,09
Camiones Pesados Diesel Tipo 2	0,04	0,04	0,25	1,01	0,15	0,00	0,14	182,03	58,02	186.170,90
Totales	53,12	48,86	9.829,02	1.271,64	48,48	18,24	1.144,82	161.304,54	54.808,14	455.908.781,49

Fuente: Elaboración propia

TE: Emisiones en caliente por tubo de escape; PF: Emisiones provenientes de partidas en frío; EVAP: emisiones evaporativas.

3.1.6.1 Comparación de resultados con otras ciudades

La entrega un resumen de emisiones totales vehiculares registradas en distintas ciudades de nuestro país. Si se comparan las emisiones obtenidas para Temuco y Padre Las Casas en el marco del estudio PACIN II, desarrollado por MIDEPLAN-SECTRA durante el año 2004, con las emisiones obtenidas en el presente estudio, se observa un incremento en las emisiones de manera generalizada para todos los contaminantes, salvo para el SO₂ en donde en el presente estudio se le aplicó una reducción en el contenido de azufre a 1250 ppm para el diesel y 100 ppm para bencina (según antecedentes reportados por ENAP), sin embargo dentro del estudio PACIN II no se entregan las referencias de qué contenido de azufre se ocupó.

Al comparar emisiones y parque motorizado registrado en las distintas ciudades, se observa una relación de dependencia en la mayoría de las ciudades (a mayor parque mayores emisiones). Sin embargo, la variable que representa el indicador adecuado de nivel de actividad, y también de emisiones (considerando tasas de emisión constantes en todas las ciudades), se ve expresado por los kilómetros recorridos registrados en cada ciudad y no solo por el parque. Estos kilómetros recorridos se obtienen a partir de la información entregada por los modelos de transporte (flujo de cada categoría y longitud, ambos desagregados por arco, a la hora punta mañana), kilómetros que se expanden a todo el año por medio del valor entregado a hora punta expandido anualmente mediante los perfiles temporales diarios, semanales y mensuales de cada ciudad.

Cabe mencionar que las emisiones de CO y NO_x presentadas en la tabla a continuación son reflejo de la aplicación de factores de emisión iguales en todas las ciudades, salvo para el caso de Temuco y Padre Las Casas, dentro del presente estudio, en donde se le aplicaron factores de corrección por deterioro a los vehículos livianos.

Tabla 27. Emisiones Totales por contaminante y por ciudad. Escenario 2005, distintos estudios.

Ciudades	Contaminantes Locales (ton/año)						Contaminantes Globales (ton CO2 eq)	Niveles de Actividad		
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃		Parque Vehicular	Consumo de Combustible (Ton/año)	Kilómetros Recorridos
Antofagasta ¹	74,2	N/R	6.751,2	1.814,9	103,6	28,7	217.638,2	40.984,0	83.479,7	770.079,0
La Serena ^{1,5}	55,7	N/R	4.514,4	1.230,3	106,1	12,5	105.416,5	41.219,0	45.511,8	414.333,0
Valparaíso ¹	209,8	N/R	37.033,8	5.839,2	337,6	96,1	685.036,0	113.188,0	266.294,1	2.621.054,0
Chillan ^{1,5}	26,2	N/R	3.425,3	602,5	28,1	4,9	58.438,2	25.773,0	23.054,8	197.282,0
Osorno ^{1,5}	30,8	N/R	3.478,9	685,3	29,8	6,3	63.038,2	20.037,0	26.305,9	233.514,0
Calama ²	13,4	N/R	6.187,8	747,2	140,7	26,0	162.781,3	24.797,0	54.814,1	591.990,0
Copiapó ²	20,4	N/R	2.316,2	517,7	91,1	12,1	89.032,3	17.868,0	29.485,8	285.661,0
Talca ²	19,1	N/R	5.185,7	800,5	104,6	14,0	108.807,0	28.580,0	37.292,4	435.428,0
Los Ángeles ²	11,4	N/R	5.303,7	560,8	87,5	9,2	84.755,7	24.236,0	29.686,6	454.054,0
Temuco y PLC ²	45,9	N/R	5.508,7	1.104,3	176,8	17,3	160.133,2	44.444,0	53.862,5	449.390,0
Valdivia ²	12,3	N/R	1.883,8	330,9	49,5	6,0	49.222,5	18.038,0	16.643,9	262.458,0
Arica ³	44,7	41,1	2.212,5	708,8	38,5	10,3	79.834,3	30.645,0	29.204,0	302.841,0
Iquique ³	55,3	50,9	8.682,3	1.263,7	74,7	12,3	166.746,9	58.915,0	62.760,7	602.927,0
Rancagua ³	40,0	36,8	3.064,9	751,3	33,0	17,4	116.982,0	38.943,0	39.100,3	388.431,0
Concepción ³	266,9	245,6	17.548,6	6.242,2	314,3	71,3	700.707,8	115.200,0	241.381,9	2.052.102,0
Puerto Montt ³	22,9	21,0	4.422,4	686,3	25,7	9,5	84.013,3	30.764,0	32.167,3	309.960,0
R. Metropolit. ^{4,5}	623,7	573,8	149.990,9	24.181,6	6.983,3	1.032,3	6.546.420,3	839.523,0	2.136.462,1	19.632.334,3
Temuco y PLC ⁶	53,12	48,86	9.829,02	1.271,64	48,48	18,24	161.304,54	47.445,0	54.808,14	455.908,0

Fuente: Estudios PACIN I, PACIN II, y elaboración propia en PACIN III.

Notas:

¹ Estudio PACIN I, ² Estudio PACIN II, ³ Estudio PACIN III, ⁴ Estudio CONAMA RM "Modelo de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos para la RM", 2004;

⁵ Corresponden a emisiones año 2000; ⁶ Presente Estudio CONAMA IX-DICTUC.

N/R: Este contaminante no fue registrado para los estudios de PACIN I y PACIN II.

*: Los datos reportados Estos datos corresponden al año 2000.

PLC: Padre Las Casas.

3.2 Fuentes Móviles fuera de Ruta

Los tipos de maquinaria terrestre considerada dentro del presente estudio son aquellas asociadas a maquinaria agrícola y a maquinaria de construcción que operan dentro de las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

3.2.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

Para el cálculo de emisiones de fuentes móviles fuera de ruta se utilizó la metodología EPA descrita en el documento “EPA420-P-04-009, April 2004, NR-009c, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling--Compression-Ignition”. Estas fuentes serán consideradas como fuentes de zona, debido a la dificultad de localizar geográficamente el lugar de emisión. Esta metodología especifica la siguiente ecuación:

$$E_{i,k} = EF_i * T_k * C_k * W \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- $E_{i,k}$: Emisiones del contaminante i producidas por un vehículo tipo k [gr]
- EF_{ik} : Factor de emisión del contaminante i para los vehículos tipo k [gr/hp-h]
- T_k : Tiempo de operación promedio de los vehículos del tipo k [h]
- C_k : Porcentaje de carga (respecto a la potencia nominal) durante la operación normal de los vehículos tipo k
- W : Potencia nominal [hp]

El factor de emisión debe ser ajustado según:

$$EF_{\text{adj}} (\text{HC, CO, NO}_x) = EF_{\text{SS}} * \text{TAF} * \text{DF} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- EF_{adj} : Factor de emisión ajustado (g/hp-hr).
- EF_{SS} : Factor de emisión en caliente (g/hp-hr).
- TAF : Factor de ajuste transiente.
- DF : Factor de deterioro.

Tabla 28. Consumo de combustible y factores de emisión para HC, CO, NO_x Y PM según potencia de motor y tecnología.

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO _x	PM
>0 to 11	Base	0.408 ^b	1.5	5.0	10.0	1.0
	Tier 0		1.5	5.0	10.0	1.0
	Tier 1		0.7628	4.1127	5.2298	0.4474
	Tier 2		0.5508	4.1127	4.3	0.50
	Tier 4A		0.5508	4.1127	4.3	0.28
	Tier 4B		0.5508	4.1127	4.3	0.28
>11 to 16	Base	0.408 ^b	1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 0		1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 1		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 2		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 4A		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
	Tier 4B		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
>16 to 25	Base	0.408 ^b	1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 0		1.7	5.0	8.5	0.9
	Tier 1		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 2		0.4380	2.1610	4.4399	0.2665
	Tier 4A		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
	Tier 4B		0.4380	2.1610	4.4399	0.28
>25 to 50	Base	0.408 ^b	1.8	5.0	6.9	0.8
	Tier 0		1.8	5.0	6.9	0.8
	Tier 1		0.2789	1.5323	4.7279	0.3389
	Tier 2		0.2789	1.5323	4.7279	0.3389
	Tier 4A		0.2789	1.5323	4.7279	0.20
	Tier 4		0.1314	0.153	3.0000	0.0184

Fuente: AP42 EPA

(Continuación Tabla anterior)

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO _x	PM
>50 to 75	Base	0.408	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.99	3.49	6.9	0.722
	Tier 1		0.5213	2.3655	5.5988	0.4730
	Tier 2		0.3672	2.3655	4.7	0.24
	Tier 4A		0.1836	2.3655	3.0	0.20
	Tier 4		0.1314	0.237	3.00	0.0184
>75 to 100	Base	0.408	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.99	3.49	6.9	0.722
	Tier 1		0.5213	2.3655	5.5988	0.4730
	Tier 2		0.3672	2.3655	4.7	0.24
	Tier 3B		0.1836	2.3655	3.0000	0.30
	Tier 4		0.1314	0.237	3.00	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.237	0.276	0.0092
>100 to 175	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.3384	0.8667	5.6523	0.2799
	Tier 2		0.3384	0.8667	4.1	0.18
	Tier 3		0.1836	0.8667	2.5	0.22
	Tier 4		0.1314	0.087	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.087	0.276	0.0092
>175 to 300	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.3085	0.7475	5.5772	0.2521
	Tier 2		0.3085	0.7475	4.0	0.1316
	Tier 3		0.1836	0.7475	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.075	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.075	0.276	0.0092

Fuente: AP42 EPA

(Continuación Tabla anterior)

Engine Power (hp)	Technology Type	BSFC (lb/hp-hr)	Emission Factors (g/hp-hr)			
			HC	CO	NO _x	PM
>300 to 600	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2025	1.3060	6.0153	0.2008
	Tier 2		0.1669	0.8425	4.3351	0.1316
	Tier 3		0.1669	0.8425	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.084	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.084	0.276	0.0092
>600 to 750	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.1473	1.3272	5.8215	0.2201
	Tier 2		0.1669	1.3272	4.1	0.1316
	Tier 3		0.1669	1.3272	2.5	0.15
	Tier 4		0.1314	0.133	2.50	0.0092
	Tier 4N		0.1314	0.133	0.276	0.0092
>750 except generator sets	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.076	2.392	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	2.392	0.0276
Gen sets >750 to 1200	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.076	2.392	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	0.460	0.0184
Gen sets >1200	Base	0.367	Vary by application, see NEVES			
	Tier 0		0.68	2.70	8.38	0.402
	Tier 1		0.2861	0.7642	6.1525	0.1934
	Tier 2		0.1669	0.7642	4.1	0.1316
	Tier 4		0.2815	0.076	0.460	0.069
	Tier 4N		0.1314	0.076	0.460	0.0184

Fuente: AP42 EPA

Tabla 29. Factor de ajuste transiente según tipo de maquinaria (AP-42 EPA)

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF	HC	CO	NOx		PM		BSFC
			Assignment	Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270001000	Recreational Vehicles All	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270001020	Recreational Vehicles Snowmobiles	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001030	Recreational Vehicles All Terrain Vehicles	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001040	Recreational Vehicles Minibikes	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001050	Recreational Vehicles Golf Carts	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270001060	Recreational Vehicles Speciality Vehicle Carts	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002003	Construction Equipment Pavers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002006	Construction Equipment Tampers/Rammers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002009	Construction Equipment Plate Compactors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002015	Construction Equipment Rollers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002018	Construction Equipment Scrapers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002021	Construction Equipment Paving Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002024	Construction Equipment Surfacing Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002027	Construction Equipment Signal Boards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002030	Construction Equipment Trenchers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002033	Construction Equipment Bore/Drill Rigs	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002036	Construction Equipment Excavators	Excavator	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002039	Construction Equipment Concrete/Industrial Saws	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002042	Construction Equipment Cement & Mortar Mixers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002045	Construction Equipment Cranes	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002048	Construction Equipment Graders	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002051	Construction Equipment Off-highway Trucks	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002054	Construction Equipment Crushing/Proc. Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270002057	Construction Equipment Rough Terrain Forklifts	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002060	Construction Equipment Rubber Tire Loaders	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002063	Construction Equipment Rubber Tire Dozers	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002066	Construction Equipment Tractors/Loaders/Backhoes	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002069	Construction Equipment Crawler Dozer	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002072	Construction Equipment Skid Steer Loaders	SSLoader	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002075	Construction Equipment Off-Highway Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270002078	Construction Equipment Dumpers/Tenders	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270002081	Construction Equipment Other Construction Equipment	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270003010	Industrial Equipment Aerial Lifts	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003020	Industrial Equipment Forklifts	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01

Continuación Tabla

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF	HC	CO	NO _x		PM		BSFC
			Assignment	Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270003030	Industrial Equipment Sweepers/Scrubbers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003040	Industrial Equipment Other General Industrial Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003050	Industrial Equipment Other Material Handling Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003060	Industrial Equipment AC/Refrigeration	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003070	Terminal Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270004000	Lawn & Garden Equipment ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004010	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004011	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004015	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004016	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004020	Lawn & Garden Equipment Chain Saws < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004021	Lawn & Garden Equipment Chain Saws < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004025	Lawn & Garden Equipment Trimmers/Edgers/Brush Cutters	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004026	Lawn & Garden Equipment Trimmers/Edgers/Brush Cutters (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004030	Lawn & Garden Equipment Leafblowers/Vacuums	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004031	Lawn & Garden Equipment Leafblowers/Vacuums Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004035	Lawn & Garden Equipment Snowblowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004036	Lawn & Garden Equipment Snowblowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004040	Lawn & Garden Equipment Rear Engine Riding Mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004041	Lawn & Garden Equipment Rear Engine Riding Mowers (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004045	Lawn & Garden Equipment Front Mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004046	Lawn & Garden Equipment Front Mowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004050	Lawn & Garden Equipment Shredders < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004051	Lawn & Garden Equipment Shredders < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003030	Industrial Equipment Sweepers/Scrubbers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003040	Industrial Equipment Other General Industrial Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003050	Industrial Equipment Other Material Handling Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270003060	Industrial Equipment AC/Refrigeration	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270003070	Terminal Tractors	Crawler	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270004000	Lawn & Garden Equipment ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004010	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004011	Lawn & Garden Equipment Lawn mowers Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004015	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004016	Lawn & Garden Equipment Rotary Tillers < 6 HP Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Continuación Tabla

SCC	Equipment Type	Cycle	TAF	HC	CO	NOx		PM		BSFC
			Assignment	Base-T3	Base-T3	Base, T0-T2	Tier 3	Base, T0-T2	Tier 3	Base-T3
2270004055	Lawn & Garden Equipment Lawn & Garden Tractors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004056	Lawn & Garden Equipment Lawn & Garden Tractors (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004060	Lawn & Garden Equipment Wood Splitters	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004061	Lawn & Garden Equipment Wood Splitters Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004065	Lawn & Garden Equipment Chippers/Stump Grinders	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004066	Lawn & Garden Equipment Chippers/Stump Grinders (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004071	Lawn & Garden Equipment Commercial Turf Equipment (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004075	Lawn & Garden Equipment Other Lawn & Garden Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270004076	Lawn & Garden Equipment Other Lawn & Garden Equipment (Commercial)	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270005010	Farm Equipment 2-Wheel Tractors	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005015	Farm Equipment Agricultural Tractors	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005020	Farm Equipment Combines	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005025	Farm Equipment Balers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005030	Farm Equipment Agricultural Mowers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005035	Farm Equipment Sprayers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005040	Farm Equipment Tillers > 6 HP	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005045	Farm Equipment Swathers	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005050	Farm Equipment Hydro Power Units	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270005055	Farm Equipment Other Agricultural Equipment	AgTractor	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270005060	Farm Equipment Irrigation Sets	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006000	Light Commercial ALL	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006005	Light Commercial Generator Sets	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006010	Light Commercial Pumps	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006015	Light Commercial Air Compressors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006020	Light Commercial Gas Compressors	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270006025	Light Commercial Welders	ArcWelder	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270006030	Light Commercial Pressure Washers	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2270007005	Logging Equipment Chain Saws > 6 HP	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270007010	Logging Equipment Shredders > 6 HP	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270007015	Logging Equipment Forest Equipment	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270008005	Airport Service Equipment Airport Support Equipment	RTLoader	Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.04	1.23	1.47	1.01
2270009010	Other Underground Mining Equipment	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18
2270010010	Other Oil Field Equipment	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020005	Recreational Pleasure Craft, Inboards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020010	Recreational Pleasure Craft, Outboards	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020015	Recreational Pleasure Craft, Personal Water Craft	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2282020025	Recreational Pleasure Craft, Sailboat Aux. Outboard	None	None	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2285002015	Railway Maintenance	Backhoe	Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.21	1.97	2.37	1.18

Factor de deterioro asociado:

$$DF = 1 + A * (\text{factor de edad})^b \quad \text{Para factor de edad} \leq 1$$

$$DF = 1 + A \quad \text{Para factor de edad} > 1$$

A : Constante según tipo de contaminante/tecnología (Tabla 30).

b : Constante, para vehículos diesel se considera b=1 para un factor de deterioro lineal.

$$\text{Factor de edad} = \frac{(\text{horas}_{\text{acumuladas}} * \text{factor}_{\text{de carga}})}{\text{vida}_{\text{media a carga completa}}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Tabla 30. Factor de deterioro (A) para motores diesel fuera de ruta

Pollutant	Relative Deterioration Factor (A) (% increase/%useful life)			
	Base/Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3+
HC	0.047	0.036	0.034	0.027
CO	0.185	0.101	0.101	0.151
NOx	0.024	0.024	0.009	0.008
PM	0.473	0.473	0.473	0.473

Fuente: AP42 EPA

Factor de ajuste PM10:

La emisión de PM depende del contenido de sulfuro en el combustible, por tanto el factor de emisión para PM se calcula usando:

$$EF_{\text{adj}} (\text{PM}) = EF_{\text{SS}} * \text{TAF} * DF - S_{\text{PMadj}} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$S_{\text{PMadj}} = \text{BSFC} * 453.6 * 7.0 * \text{soxcnv} * 0.01 * (\text{soxbas} - \text{soxdsl}) \quad \text{Ecuación 24}$$

BSFC : Uso de combustible (lb/hp-hr)

453.6 : conversión de libras a gramos.

7.0 : gramos de PM sulfato / gramos PM sulfuro

S_{PMadj} : Factor de ajuste de emisión por variación de contenido de sulfuro en el combustible.

soxcnv : gramos PM sulfuro por gramos de sulfuro combustible consumido

0.01 : conversión de porcentaje a fracción

soxbas : porcentaje de peso por defecto de sulfuro en el combustible

soxdsl : porcentaje de peso de sulfuro en combustible

Existe un valor base para soxcnv = 0.02247 y para soxbas el valor por defecto es de 0.33.

3.2.1.1 Niveles de actividad

La fuente de información para fuentes móviles fuera de ruta es la siguiente:

- Maquinaria agrícola existente para las comunas en estudio según fuente INE.
- Maquinaria promedio utilizada en obras de construcción y superficie edificada para las comunas de Temuco y Padre Las Casas (información entregada por profesionales del área de la construcción y registros INE, respectivamente).

3.2.1.1.1 Niveles de actividad maquinaria agrícola

Según información INE, en las comunas de Temuco y Padre Las Casas para el año 2005 existía un parque de 92 tractores agrícolas, distribuidos espacialmente de la forma en que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 31. Distribución de tractores agrícolas por comunas año 2005

Comuna	N° de tractores
Padre Las Casas	32
Temuco	60
Total	92

Fuente: INE

3.2.1.1.2 Niveles de actividad maquinaria de la construcción

El nivel de actividad de este tipo de fuente se asocia al número de horas promedio de funcionamiento de cada una de las maquinarias utilizadas en obras de edificación en función de los metros cuadrados de emplazamiento.

Se consideraron los siguientes tipos de maquinaria: retroexcavadora chica, retroexcavadora, compactadoras, vibradores de hormigón y grúas. Estas son las maquinarias más utilizadas en construcciones de uno y más pisos, según información entregada por constructoras del rubro y por expertos en el área de la construcción.

En las siguientes Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34, se especifica la maquinaria considerada según número de pisos edificados y según la superficie construida de emplazamiento. A partir de esta información es posible determinar el número de horas promedio utilizadas al año por comuna.

Tabla 32 Maquinaria utilizada en edificación y horas promedio de trabajo.

Excavación de Fundación	Retroexcavadora	Compactador
-------------------------	-----------------	-------------

Página 67 de 67

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fonó: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

Pisos	M2 prom.	Retroexcavadora chica (gato)				Doble Tambor		Placa		Pata pata hidro pison	
		N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso prom.	N ^a	Horas de uso prom.	N ^a	Horas de uso promedio
1	60	1	3,50					1	1,50		
2	80	1	5,00					1	2,50		
3	200			1	8,00	1	6,50	1	6,00	1	3,00
4	350			1	8,00	1	27,30	1	10,50	1	5,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Maquinaria utilizada en edificación y horas promedio de trabajo.

Pisos	M2 promedio	Grúa		Retroexcavadora		Compactador					
		N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso promedio	Doble Tambor		Placa		Pata pata hidro pison	
		N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso promedio	N ^a	Horas de uso promedio
5	500	1	312,50	1	70,00	1	60,94	1	37,50	1	18,75
6	500	1	406,25	1	70,00	1	60,94	1	37,50	1	18,75
7	500	1	528,13	1	70,00	1	60,94	1	37,50	1	18,75
8	500	1	686,56	1	70,00	1	60,94	1	37,50	1	18,75
9 o +	500	1	892,53	1	70,00	1	60,94	1	37,50	1	18,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Maquinaria utilizada en edificación y horas promedio de trabajo

Motor Gasolinero chico vibrar hormigón (6 hp)				
Pisos	M2 promedio	Número	Horas de uso promedio	
			Fundación	Llenado cadenas
1	60	1	1,50	3,00
2	80	1	2,25	4,50
3	200	1	6,30	12,60
4	350	1	11,03	22,05
5	500	1	51,19	102,38
6	500	1	81,90	163,80
7	500	1	81,90	196,56
8	500	1	81,90	235,87
9+	500	1	81,90	283,05

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Cálculo de Emisiones

A continuación se presenta la estimación de emisiones efectuada, separada en maquinaria agrícola y maquinaria de construcción:

a) Maquinaria Agrícola

La información disponible de maquinaria agrícola corresponde a la publicada por INE, correspondiente a 92 tractores agrícolas, y que no especifica potencia de estos, por lo cual se utilizó la potencia promedio de los tractores.

Se utilizaron valores de factor de carga (nivel de exigencia que se le aplica a la maquinaria) de 78% obtenido del documento AP42 y una utilización promedio anual de 800 horas¹⁸. Se consideró un factor de edad > 1 debido a que no se cuenta con información exacta de la antigüedad de la maquinaria.

Tabla 35. Total emisiones de tractores agrícolas. Año 2005 (Ton/año)

Comuna	N° Tractores	MP10	MP 2,5	CO	NOx	HC	MP
Padre Las Casas	32	1,65	1,52	8,59	9,11	1,48	1,65
Temuco	60	3,09	2,84	16,11	17,09	2,77	3,09
Total	92	4,74	4,36	24,70	26,20	4,25	4,74

Fuente: Elaboración propia

b) Maquinaria de Construcción

Los valores de factor de carga se obtuvieron de la EPA 420-P-04-005, Abril 2004, "Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling". Se consideró un factor de edad > 1 debido a que no se cuenta con información exacta de la antigüedad de la maquinaria.

Los valores utilizados fueron los siguientes:

Tabla 36. Valores utilizados para factor de carga y potencia según tipo de maquinaria

Maquinaria	Ck	W (Hp)
Retroexcavadora Chica	0,5	80
Retroexcavadora	0,53	228
Cargador Frontal	0,5	80
Compactador	0,8	40
Vibrador de Hormigón Chico	0,8	10
Grúa	0,3	5

Fuente: EPA, 2004

¹⁸ ASAE (1995); Benedetti y Gallegos (1983); Panel de Expertos, Departamento de Mecanización y Energía, Universidad de Concepción (1996)

Tabla 37. Total emisiones maquinaria de construcción. Año 2005 (Ton/año)

Comuna	PM 10	PM 2,5	CO	NOx	HC	PTS
Padre las Casas	0,04	0,04	0,24	0,32	0,03	0,04
Temuco	0,83	0,81	3,87	9,76	0,74	0,83
Total	0,87	0,85	4,11	10,08	0,77	0,87

Fuente: Elaboración propia

3.3 Fuentes Estacionarias

3.3.1 Combustión Residencial de GLP, Kerosene y Gas Propano

3.3.1.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La combustión residencial se asocia a las emisiones atmosféricas que se producen al quemar algún tipo de combustible en las residencias particulares ya sea para calefacción, calentar agua o cocción de alimentos. Los combustibles que se estudiarán en esta sección son: kerosene, gas licuado (GLP) y gas propano.

Las emisiones dependen del tipo de combustión, la composición del combustible y del tipo de equipo donde se produce la combustión. Las emisiones se determinan al multiplicar el consumo de combustible por un factor de emisión, presentados más adelante del presente documento, de acuerdo a la siguiente expresión general:

$$E = FE \cdot Na \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

E : Emisiones del contaminante en estudio [ton/año]

FE : Factor de emisión del contaminante en estudio, en función del tipo de combustible [Ton/kg combustible]

Na : Nivel de actividad, definido en este caso por el consumo anual de combustible [kg/año]

El kerosene es un derivado del petróleo obtenido de su destilación. Su uso residencial corresponde principalmente para la calefacción durante los meses de invierno. En Chile se ha introducido un nuevo tipo de estufa denominada “catalítica” la cual utiliza un kerosene de composición distinta al kerosene convencional. A la fecha no existen datos nacionales de emisiones para este tipo de estufa, la metodología presentada no hace distinción entre éstas.

Las emisiones de gas licuado (GLP) dependen del diseño de los quemadores y de la ventilación del flujo de gas; un mal diseño, un bloqueo de la ventilación e insuficiente aire provoca una combustión incompleta produciendo emisiones de CO y COV. Las emisiones de NOx se producen en función de la temperatura, del exceso de aire y de la mezcla combustible/aire. Las emisiones de SOx dependen directamente de la cantidad de azufre en el combustible.

Los factores de emisión para gas licuado y kerosene, provienen de dos fuentes de información; una corresponde al AP-42 de la EPA y la otra a la Agencia Ambiental de California (CARB). Estos valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 38. Factores de emisión por combustión residencial.

Combustible	TOC ⁴	CO	NO _x	SO _x ³	MP	Unidad
GLP ²	87,47	221,68	1090,42	1,68	33,55	Kg/1000 m ³
Kerosene ²	298,73	599,13	2156,88	4313,76	299,57	Kg/1000 m ³

1: Fuente: AP-42, EPA. 2: Fuente: CARB. 3: Corresponde a SO₂. 4: Compuestos orgánicos totales, lo cual en términos del inventario de emisiones se asocia a compuestos orgánicos volátiles.

3.3.1.2 Niveles de Actividad

El nivel de actividad requerido para la estimación de emisiones corresponde al consumo anual para cada combustible. En el caso del GLP, y kerosene se utilizan las estadísticas de la SEC al año 2005 que aportan datos de consumo a nivel regional tanto para combustibles líquidos como gaseosos. Se consultó la cobertura de la empresa INTERGAS, la cual informó red solo en la comuna de Temuco, con un suministro de gas propano diluido, el que está incluido en el reporte de consumo de GLP de la SEC.

Además se debe tener en cuenta que antes de ser utilizado el GLP en el consumo residencial, los balones de GLP al ser manipulados sufren una serie de fugas, estimadas en un 3.5%.

Los valores registrados por la SEC y utilizados para el cálculo de emisiones se reportan en la siguiente tabla:

Tabla 39. Consumo Residencial de Combustibles 2005.

Combustible	Comunas	Consumo (Ton/año)
GLP	Padre Las Casas	6555,79
	Temuco	1582,32
Kerosene	Padre Las Casas	799,39
	Temuco	192,88

Fuente: SEC 2005

3.3.1.3 Cálculo de Emisiones

Aplicando la metodología antes descrita, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 40. Emisión de contaminantes asociados a la combustión residencial (ton/año), año 2005.

Comb.	Comuna	MP10	MP2,5	CO	NO _x	VOC	SO _x	NH ₃
GLP	TEMUCO	0,38922	0,38922	0,14643	0,49683	0,06983	0,00114	0,00210
	P. LAS CASAS	0,09392	0,09392	0,06293	1,05921	0,09504	0,00042	0,00082
Kerosene	TEMUCO	0,00028	0,00028	0,00056	0,00203	0,00028	0,00336	0,00007
	P. LAS CASAS	0,00007	0,00007	0,00014	0,00049	0,00007	0,00081	0,00002
TOTAL		0,48349	0,48349	0,21006	1,55856	0,16522	0,00573	0,00301

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Se le incorporaron decimales para visualizar emisiones con valores inferiores a 1.

3.3.2 Combustión residencial de leña

3.3.2.1 Antecedentes generales

La leña está formada por un 43% de carbono (C), un 7% de hidrógeno (H) y un 49% de oxígeno (O₂). La composición elemental de la madera no sufre mayores variaciones en las diferentes especies. Los principales compuestos orgánicos de la madera son celulosa (40-50% del peso de leña seca), hemicelulosa (20-30%), lignina (20-30%) y una pequeña fracción que incluye resinas y cenizas. La celulosa son polímeros polisacáridos que incluyen una combinación de carbono, hidrogeno y oxigeno. La lignina, su contenido y composición varía según la especie de leña, esta compuesta de aromáticos los que en la fase de pirólisis de la combustión produce hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP's.

Se puede decir en base a referencias internacionales¹⁹ que el material particulado que se produce durante la combustión residencial de leña corresponde en un 96% a MP10 y en un 93% a MP2.5. Las partículas están compuestas principalmente por partículas orgánicas y carbono elemental (hollín), y una pequeña fracción corresponde a sales inorgánicas como KCl, K₂SO₄, entre otras.

Por ejemplo, resultados de emisiones en artefactos de combustión abierta, indican que cerca del 74% de MP2.5 corresponde a carbono orgánico y entre un 1-18% a carbono elemental (Fine et al., 2002), el resto corresponde a finas sales que incluyen una combinación de sodio, manganeso, potasio, calcio, zinc, amonio, sulfatos, carbono y nitrato, dependiendo de la especie de madera.

Los compuestos orgánicos presentes en el humo dependen de las condiciones de la combustión y del contenido de lignina en la madera. Las principales especies presentes de HAPs son: Acenaftileno, Naftaleno, Antraceno, Fenantreno, Benzo(a)pireno y Benzo(b)pireno. Otros compuestos incluyen una variedad de Aldehídos, Fenoles, Alcoholes, Cetonas, Acidos Carboxílicos, Etano y Etanol. Los compuestos orgánicos como Formaldehídos, Benceno, Tolueno, Xileno, y HAP's, incluyendo benzo(a)pireno son conocidos por su nivel de toxicidad carcinógeno en el aire.

Las características más importantes de la leña que determinan la producción de calor son su contenido de humedad y densidad. Al comparar el contenido de energía entre maderas blandas de las duras, estas últimas tienen un valor energético mayor (19,2 MJ/kg) que las maderas blandas (18,2 MJ/kg). Maderas duras toman un mayor tiempo en quemarse y producen una mayor cantidad de cenizas que las maderas blandas. Por su parte, el contenido de humedad en la leña requiere de mayor energía para ser evaporada, reduciendo la eficiencia de la combustión y el valor energético del combustible, aumentando las emisiones (Rogge et al.,

¹⁹. Reconciling Urban Fugitive dust Emissions Inventory and Ambient Sources Contribution Estimates..”, DRI, Desert Research Institute 1999.

1998). En términos generales las principales conclusiones de estudios realizados a nivel nacional²⁰ concluyen que la humedad de la leña es el parámetro que más incide en las emisiones de contaminantes y que el tipo de especie no influye mayormente en el poder calorífico y sólo afectaría la densidad y por lo tanto la velocidad de quemado.

La leña, es una fuente energética económica, su empleo está íntimamente ligado a la cultura y tradiciones de la zona sur del país y, su uso se encuentra generalizado en casi todos los estratos de la sociedad, tanto en el sector urbano como rural. El mercado en que se desenvuelve la producción comercialización y, consumo de leña es altamente informal, con una producción basada en bajas o casi nulas orientaciones técnicas y ambientales.

Como consecuencia de lo anterior, la mayoría de la leña que se comercializa en Temuco, presenta mayores contenidos de humedad a los recomendados internacionalmente, combinado con malas condiciones de operación y tecnología de combustión deficiente, resultando como producto emisiones de material particulado fino en tasas superiores a lo señalado por factores de emisión internacionales o medidos en Chile en condiciones de laboratorio ya que en ambos casos tanto las condiciones de operación de los artefactos así como los contenidos de humedad de la leña no se asemejan a las condiciones locales de uso lo cual hace necesario la introducción de mejores factores de emisión o corrección de las referencias internacionales a la realidad local.

3.3.2.2 Resultados de estudios sobre inventario de emisiones y consumo de leña

De acuerdo al inventario de emisiones preparado para CONAMA por CENMA en el año 2001, se determinó que la leña es la fuente de combustión domiciliaria más importante de Temuco. En la encuesta aplicada por VITAE, 2002, se estimó un consumo anual de 197.646,13 m³ de leña, con un error de muestreo de un 14%.

Posteriormente, el estudio de “Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile”, preparado para la Comisión Nacional de Energía y desarrollado por el Departamento de Economía de la U. de Chile, proyectó al año 2003, a partir de la información disponible en la IX Región, el consumo para la zona urbana y rural de la región de la Araucanía son 461.674 m³ sólidos y 1.023.390 m³ sólidos respectivamente.

En dicho estudio se señala que “Para la IX Región también hay bastante coincidencia entre los consumos estimados por los distintos estudios. Todos estiman un consumo promedio entre 5 y 6,6 m³ por vivienda para la ciudad de Temuco. El promedio entre estos estudios da 5,8 m³ por año. Si se omite el estudio de VITAE (2002), el consumo promedio en Temuco sería de 6,3 m³ por año”.

²⁰ Estudio: “Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas”, Desarrollado por Universidad de Concepción para CONAMA, año 2002.

El mismo estudio entrega una serie de recomendaciones para mejorar la información disponible sobre el consumo de leña, al respecto destacan en cuanto a la pertinencia de la presente propuesta (se cita manteniendo en algunos casos la recomendación textual):

- *Mantener módulos de consumo de leña de las encuestas recientes.* Con objeto de mantener la comparabilidad de la información con las encuestas realizadas durante los últimos 5 años. Naturalmente, hay algunos elementos específicos que son particulares a cada región y que es necesario adaptar en cada caso. Por ejemplo, los tipos de leña (especie de árbol) y las unidades de medición en la comercialización de la leña.
- *Adoptar las preguntas socioeconómicas de la encuesta CASEN.* En lo posible, las nuevas encuestas deberían utilizar las mismas preguntas socioeconómicas que las del formulario de la encuesta CASEN. Esto facilita el uso de la información de esta última encuesta para realizar estimaciones globales del consumo.
- *Incluir pregunta sobre el ingreso del hogar.* La mayoría de las encuestas realizadas hasta la fecha no contienen información sobre el nivel de ingresos de los hogares. Esta variable es clave para poder analizar los patrones de consumo según nivel socioeconómico, estimar elasticidades ingreso de la demanda por leña y otros usos. Por lo tanto, sería altamente conveniente que futuras encuestas pregunten por esta variable siguiendo el formato de preguntar por tramos de ingreso, como en las encuestas de Temuco (VITAE, 2002) y la X Región (DECON-CNE, 2005)
- *Factores de expansión.* Toda nueva encuesta debería incluir en la base de datos los factores de expansión regional o nacional, de cada observación. Esta información es vital para obtener estimadores insesgados de parámetros poblacionales, especialmente si la encuesta tiene un diseño multietápico o estratificado. Además, es crucial encuestar e incluir en la base de datos la información de hogares no consumidores para poder aplicar una metodología de estimación de consumo como la que se propone en el estudio.

3.3.2.3 Metodología para Estimar Emisiones de la Combustión Residencial de leña

La metodología que se seguirá para estimar las emisiones de la combustión residencial de leña, asumiendo la aplicación de la encuesta a hogares, comprende básicamente tres etapas:

- 1) Revisión de la metodología y selección de factores de emisión.
- 2) Diseño de la muestra, estimación del error, formulario y procesamiento estadístico.
- 3) Análisis de los resultados y estimación de emisiones.

1) Revisión de la metodología y selección de factores de emisión

Básicamente, las emisiones se determinan al multiplicar el consumo anual asociado a cada combustible por un factor de emisión, de acuerdo a la siguiente expresión general:

Página 74 de 74

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

$$E_i = FE_{ij} \cdot N_{aj}$$

Donde:

E_i : Emisiones del contaminante i en estudio [ton/año]

FE_{ij} : Factor de emisión del contaminante i en estudio para un artefacto del tipo j , [Ton/kg combustible]

N_{aj} : Nivel de actividad, definido en este caso por el consumo anual de combustible asociado al artefacto j [kg/año]

Respecto a la distribución espacial de las emisiones generadas por la combustión residencial de leña, ésta se efectúa directamente en función del nivel de detalle de la información de consumo de combustible disponible, por ejemplo, a nivel comunal o a nivel de distrito censal o bien mediante el uso de factores de distribución, en el caso que sólo se posea información agregada del consumo. En el caso del presente estudio, la distribución espacial se obtendrá a partir de los resultados que entregará la encuesta a hogares y su debido análisis estadístico.

Como punto de partida para la correcta selección de factores de emisión, para el consumo de leña residencial se partió por efectuar una recopilación de los principales factores de emisión disponibles y utilizados en estudios realizados a nivel nacional.

Para el caso de la combustión residencial de leña, el nivel de actividad está en función de la siguiente información:

- El tipo de artefacto de combustión, que puede ser cocina, calefactor, salamandra, combustión abierta, otros.
- El consumo de combustible, expresado en masa por unidad de tiempo (dependiendo de la caracterización temporal del consumo en forma horaria, semanal, mensual, estacional, anual).
- El contenido de humedad del combustible (seco < 25% y húmedo > 40%).
- El periodo de encendido del artefacto (con objeto de caracterizar periodos de encendido estacional, semanal y diario) (para caracterizar el nivel de actividad).
- El tipo de operación del equipo.

Este tipo de información necesaria para la determinación de un adecuado nivel de actividad se obtendrá de la aplicación de la encuesta, como se explica más adelante.

Así, las emisiones totales corresponderán a la suma total del aporte de contaminantes de cada artefacto de combustión de acuerdo a su periodo de uso o encendido, a la cantidad de combustible consumido, considerando además la calidad del combustible en cuanto a su contenido de humedad.

Con respecto al **factor de emisión**, está en función del tipo de artefacto y del contenido de humedad de la leña. También, se pueden usar factores de emisión de acuerdo al modo de operación del artefacto.

A continuación se listan los estudios de factores de emisión revisados dentro del presente estudio para determinar los factores de emisión más apropiados para utilizar en la estimación de emisiones.

a) Factores de emisión entregados dentro del estudio denominado “Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile”. Thomas Nussbaumer. Report for CONAMA and COSUDE. Zürich, 10. May 2006.

Dentro del informe del proyecto COSUDE²¹ (Nussbaumer, 2006), se entregan antecedentes de mediciones de emisiones efectuadas a estufas típicas chilenas medidas en Suiza por expertos de dicho país, obteniéndose factores de emisión para distintos tipos de operación del artefacto de calefacción.

Respecto a las conclusiones del estudio destacan los resultados obtenidos para la estufa tradicional chilena (“doble cámara”), para la que se señala que las emisiones de MP son ampliamente sensibles a los distintos tipos de operación. Entre una operación ‘ideal’ y ‘típica’ las emisiones aumentan en un factor de 12 a 60. Entre una operación ‘mala’ y ‘típica’ aumentan de un factor de 5 a 26.

La tabla siguiente presenta los valores de mediciones obtenidos por el estudio Suizo:

Tabla 41. Resultados de las mediciones estudio suizo comparativo.

Operación	Humedad	Estufa chilena		Estufa Suiza de 2 etapas		Observaciones
		Carga troncos leña	MP [mg/m ³] normalizado a 13% O ₂	Carga troncos leña	MP [mg/m ³] normalizado a 13% O ₂	
Operación ideal con trozos de leña pequeños y secos, 30% carga. No incorpora en la medición el aporte de contaminantes que se da durante el encendido del artefacto.	12%	2 x 750 g	20	Carga Completa	10 - 20	Para efectos de pruebas se mantuvo el monitoreo continuo de CO con objeto de mantener las condiciones de la combustión. Por lo tanto, esta operación no es practicable en la realidad.

²¹ Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile. Report for CONAMA and COSUDE. Zürich, 10. May 2006. Disponible en el expediente público de la Norma.

Operación ideal con trozos de leña pequeños y secos, 30% carga. Incorpora en la medición el encendido.	12%	2 x 750 g	50	Carga Completa	20 – 30	
Operación típica para calefacción, carga completa.	20%	3 x 1500 g	250 – 1.200 (125 – 600)	Carga Completa	30- 50 (30 – 50)	La combustión en dos etapas permite una reducción de aproximadamente un 90%.
Operación típica para calefacción, carga completa	33%	3 x 1500 g	500 – 1.200 (250 – 600)	Carga Completa	60 – 150 (50 – 100)	La combustión en dos etapas permite una reducción de aproximadamente un 50%. No obstante se observa la influencia de la humedad de la leña.
Mala operación, ingreso de aire cerrado durante operación. Siguiendo Instrucciones del Fabricante.	20%	3 x 1500 g	6.600 (5.500)	Carga Completa	No es posible operar	

Nota: Emisiones de MP (mg/m^3) con 13% en volumen de O_2 , de acuerdo al método de US-EPA; los valores entre paréntesis son siguiendo el método VDI.

Con respecto a factores de emisión de MP para la Estufa tradicional chilena, se tiene:

- Para una condición ideal de operación con 12 % de humedad de leña, el factor de emisión corresponde a 0,6 g/kg de leña seca.
- Para una condición típica de operación con 20 % de humedad de leña, el factor de emisión corresponde a un rango entre los 3,0 - 14,4 g/kg leña seca.
- Para una condición mala de operación con 20 % de humedad de leña, el factor es de 79,3 g/kg leña seca.

Al revisar los resultados del estudio “Real-life emissions from residential wood burning appliances in New Zealand” de A.J. Scout, Junio 2005, Ministry for the Environment, se indica que en condiciones de real operación de los artefactos se producen emisiones sustancialmente mucho más altas que el factor de emisión que comúnmente se ha utilizado para reflejar una “operación real”.

El factor de emisión que reflejaría la “operación real” no es suficientemente robusto pero es útil como un indicador de la incertidumbre asociada cuando se estiman las emisiones de la combustión residencial de leña. El uso de un factor de emisión potencialmente no

representativo puede resultar en subestimaciones que se reflejaran en otras evaluaciones con objetivos de reducción de la contaminación, como por ejemplo en las metas de reducción.

De lo anterior, se deduce que se requiere analizar y justificar los factores de emisión que se seleccionen y que debieran reflejar, en lo posible, reales condiciones de operación.

b) “Medición de artefactos de uso residencial que operan con biomasa para apoyar procesos regulatorios ambientales” (Septiembre 2006).

La Comisión Nacional del Medio Ambiente, solicitó al laboratorio SERPRAM, realizar una serie de ensayos de medición en artefactos de combustión de uso residencial que operan con leña (cuatro calefactores y una cocina de combustión a leña), con el propósito de conocer información de línea base de sus emisiones a escala de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio consistieron en medir las concentraciones de material particulado y gases (O_2 y CO) generados por cada artefacto a tasas de quemado fijas, con el objetivo de determinar las emisiones de material particulado y otros parámetros de interés ambiental como el monóxido de carbono y la eficiencia térmica.

Las citadas mediciones se efectuaron en conformidad a lo especificado en los métodos CH-28 de certificación, el método CH-5 G para la determinación de las emisiones de partículas de calefactores a leña medidas desde un túnel de dilución y el método CH-3A, para la determinación del contenido de oxígeno y monóxido de carbono en los gases. Todos los métodos señalados corresponden a métodos oficializados por el Ministerio de Salud a través del Instituto de Salud Pública (ISP).

Los artefactos usados fueron los siguientes:

- Estufa Bosca
- Estufa Amesti
- Estufa Pucón
- Estufa Gerten
- Cocina Gross

Donde cada uno tiene especificaciones y características de fabricante, material y entrada de aire.

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos de dichas mediciones según calefactor, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 42. Emisiones de MP₁₀ Resumen estudio SERPRAM.

Calefactor	Tasa Quemado kg/h	Flujo Aire m ³ N/h	MP ₁₀ g/h	MP ₁₀ g/kg leña
A 1	1,67	17,4	4,66	3,0
A 2	1,38	14,9	3,20	2,6
B	1,21	12,2	2,54	2,4
C	3,56	79,6	6,17	1,7
D 1	2,18	22,6	6,74	3,8
D 2	1,23	13,6	28,69	23,8
E	1,92	27,2	5,01	3,0

Fuente: promedio de datos de Serpram

Nota: Mediciones no desarrolladas en condiciones de operación normal, sino en condiciones de laboratorio, según la norma CH-5G.

c) Factores de emisión utilizados en inventarios anteriores de la RM: CENMA – DICTUC.

Si bien las características del tipo de leña, artefactos o modos de operación en algunos casos utilizados en la Región Metropolitana no son equivalentes a lo ocurridos en la Región de la Araucanía, a continuación se resumen a modo de referencia los factores de emisión que han sido utilizados en los inventarios disponibles para la R.M en cuanto a la quema residencial de leña. Estos se basan en el estudio, “Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área metropolitana de Santiago” CNE, del año 1992. Para esta metodología, se hace una distinción entre consumidores de leña formales (altos recursos) e informales (bajos recursos.)

El estudio de INTEC-CNE realizó la medición de emisiones de gases y material particulado para distintos equipos de combustión a leña utilizando métodos recomendados por la EPA, con el objeto de proponer factores de emisión por tipo de equipo. La tabla siguiente resume algunos antecedentes de dicho estudio.

Tabla 43. Año del estudio de la CNE, equipos considerados y sus características

Año del Estudio	1992
Equipos Medidos	Estufas doble cámara: marca BOSCA, Winter y Calpolo.
	Estufas simple a leña
	Salamandras con carga frontal y vertical
	Chimenea abierta tradicional (con un buen control de tiraje)
	Chimeneas modelo insert: con una carga de leña de 1,5 a 3,0 Kg/hr.
Especie de leña	Eucaliptus
Condición de leña seca	15% de humedad.
Condición de leña verde	35% de humedad.

A continuación se presentan los resultados de los factores de emisión para los distintos tipos de equipos. La Tabla siguiente muestra la proposición realizada en el estudio de la CNE de uso de factores de emisión, según el tipo de combustión en abierta o cerrada.

Nótese que los FE propuestos por la CNE corresponden a Partículas Totales en Suspensión (PTS).

Tabla 44. FE ¹ por tipo de equipo a leña (g/kg)

Equipo	PTS	SO _x	NO _x	COV	CO	PAH	Benzo ²	Aldehídos Totales	Formal dehídos
Estufas doble cámara	7.0	--	1.18	35.5	48.9	0.0602	0.0134	0.43	0.21
Salmandra (carga frontal)	8.0	--	1.68	0.31	37.4	0.0426	0.0071	0.57	0.28
Salmandra (carga vertical)	8.5	--	1.76	11.5	31.9	0.0945	0.0012	0.7	0.47
Estufa simple	5.7	--	1.12	13.1	20.9	0.0173	0.0046	0.51	0.24
Chimenea abierta	16.6	--	2.00	0.72	--	0.089	0.024	1.45	0.61
Chimenea modelo insert ³	3.6-20.1	--	1.02-1.72	7.3-82.7	--	0.0148-0.134	0.0038-0.0186	--	--

1 Las emisiones son para leña de especie eucaliptus seca, con un **15% de humedad**.

2 Benzo corresponde a la suma de benzoantraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo antraceno y benzo perileno.

3 El modelo insert es un modelo diseñado que reemplaza a la chimenea tradicional al ser colocada en el hogar de esta última. Los valores límites del intervalo de emisión dependen de la carga de leña correspondiente a 1,5 a 3,0 Kg/hr.

Fuente: CNE. Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área Metropolitana de Santiago. 1992.

La siguiente Tabla entrega los factores de emisión que se han empleado para confeccionar los inventarios anteriores en CONAMA R.M.

Tabla 45. FE para equipos de quema cerrada y abierta utilizadas en los inventarios de CONAMA R.M. (g/kg)

Equipo	PTS	CO	CH ₄	HCNM	NO _x	PAH	Benzo	Aldehídos Totales	Formal-Dehídos
Estufas y Salamandras	7.3	34.8	0.2-22.1 (***)	0.1-13.4 (**)	1.44	54x10 ⁻³	7.6x10 ⁻³	0.55	0.30
Chimeneas y otros equipos de quema abierta	16.6	(*)	0.5	0.2	2.0	89x10 ⁻³	24x10 ⁻³	1.45	0.61

Fuente: Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de leña en el área Metropolitana de Santiago. 1992.

(*): En el estudio no se propone factor para el CO y en los inventarios se tomaba el mismo valor que para quema cerrada 34,8

(**): Para la R.M se utilizaba el valor 6,8

(***): Para la R.M. se utilizaba el valor 11,15

En el caso de Amoniaco se utilizaba el valor 1,088 tanto para quema cerrada como quema abierta. No fue posible encontrar la fuente. Posiblemente RADIAN 1991.

d) Factores de emisión utilizados en inventario de emisiones IX región, CONAMA año 2002.

En el marco del estudio: “*Estimación de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos por Combustión Residencial a Leña en las Comunas de Temuco y Padre las Casas, IX Región Septiembre de 2001*”, fueron utilizados los factores de emisión presentados en la Tabla 46. Es importante destacar que este inventario fue desarrollado mediante una encuesta que diferenció tipos de equipos, y que contó con un diseño estadístico apropiado.

El criterio utilizado para seleccionar los FE para cada equipo de combustión, fue que éste reflejara las condiciones de los equipos que existen en el área de estudio, los que se denominaran equipos equivalentes.

Tabla 46. Factores de emisión IX Región.

FUENTE BIBLIOGRÁFICA	Equipo de combustión según la referencia	Equipo equivalente	MP ₁₀	NO _x	CO	COV	SO _x
EIIP/EPA	Estufa Convencional ^a	Cocina a leña	15.30	1.40	115.40	26.50	0.20
EIIP/EPA	Estufa Convencional ^b	Equipo simple (una cámara).	15.30	1.40	115.40	26.50	0.20
CNE	Estufas doble cámara ^c	Equipo doble cámara	--	--	-- ^f	35.50	---
EIIP/EPA	Cocina Catalítica (Fase II)	Equipo doble cámara	8.10	1.00	53.50	7.5	0.20
CNE	Chimenea abierta ^d	Chimenea abierta/albañilería	16.60	2.00	--	--	0,18
EIIP/EPA	Chimeneas y cocinas ^e	Chimenea abierta/albañilería	--	--	126.3	114.5	0,2
CADE-IDEPE	Salamandras ^g	Salamandras	15.86	0.87	51.32	0.83	0.26

a. Fabricada antes de 1988 equivalente a cocina a leña utilizada en área de estudio.

b. Equivalente a equipo simple de una cámara. No se adopta Ref. CNE según Tabla 2.5, pues el valor es menor que el de la estufas doble Cámara, lo que produce una inconsistencia en términos de tecnología.

c. Equipos modelo BOSCA fabricada antes de 1992, equivalente a equipos de doble cámara en general.

d. Chimenea diseñada con tiraje adecuado, equivalente a chimenea de albañilería. FE para PM₁₀, NO_x y PAH

e. Equivalentes a chimeneas albañilería, FE para CO, COV y SO_x.

f. Las estufas doble cámara y cocinas catalíticas (Fase II) son equivalentes, menos para el COV. Para las cocinas catalíticas las emisiones son menores porque están equipadas con un catalizador cerámico cubierto con un metal noble (platino, paladio etc), que permite la combustión de estos compuestos a temperaturas mucho menores.

g. Las Salamandras tienen una eficiencia y tecnología distinta a los equipos de doble cámara. El FE en el CNE, esta en un rango de (8-8,5), rango en el que también esta el equipo doble cámara (8,1) del EIIP. Se estima inconveniente tomar el rango sugerido por CNE, se selecciona el FE propuesto por CADE-IDEPE, mostrado en el mismo estudio de la CNE.

e) “Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Residential Wood Combustion. 2001”

Con respecto al uso de factores de emisión en la US-EPA, el Programa de Mejoramiento de Inventarios de Emisiones (sigla EIIP en inglés) reportó el año 2001 para la fuente emisora combustión residencial de leña, una lista de factores de emisión para elementos como benceno, cadmio, cromo, manganeso, metiletilcetona, níquel, fenol, tolueno y oxileno. Asimismo, establece una lista de 28 compuestos y familias de hidrocarburos aromáticos políciclicos (HAP’s), además de factores de emisión para los contaminantes típicos que se producen durante la combustión incompleta.

Tabla 47. FE para distintos contaminantes por tipo de equipo (g/kg).

EQUIPOS	MP ₁₀	NO _x	CO	COV	SOX	PAH ^f Total	HAP ^g Total
Estufas y Cocinas ^a	17.30	1.30	126.30	114.50	0,18	--	--
Estufas ^b	17.30	1.30	126.30	114.50	0,18	--	--
Cocina Catalítica (Fase II) ^c ^d	8.10	1.00	53.50	7.5	0.20	0.207	1.12
Cocina Convencional ^e	15.30	1.40	115.40	26.50	0.20	0.365	1.6

- a. Se recomienda su uso cuando no se cuenta con información desagregada de equipos de combustión.
- b. Fabricación de equipos hasta 1988.
- c. Certificadas para cumplir con las normas EPA del 1 Julio, 1990. Con una tasa de quemado 5.5 Kg/hr.
- d. Para catalíticos con una buena mantención y con un uso normal. En general un catalítico más nuevo produce emisiones de MP más bajas y los más antiguos emisiones más altas.
- e. Fabricada antes del 1° de Julio de 1986.
- f. PAH, corresponde a la familia de Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos.
- g. HAP, siglas en inglés corresponden a la familia de “Hazardous Air Pollutants” - contaminantes peligrosos.

Fuente: EIIP, Residential Wood Combustion. 2001.

f) “Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas”, Universidad de Concepción 2002.

El año 2002 la Universidad de Concepción realizó el estudio “Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas”, dentro del cual se estudia el mercado de la leña para las comunas de Temuco y Padre las Casas.

Según el estudio de mercado de la leña, mas del 90% de los productores almacena la leña al menos un par de meses antes de su comercialización. Posteriormente esta es guardada por los distribuidores, quienes en un 70% aproximadamente la almacenan al menos 4 meses.

Además este mismo estudio muestra la distribución en la compra de leña a lo largo del año, la cual se concentra entre los meses de Enero y Mayo para ambas comunas.

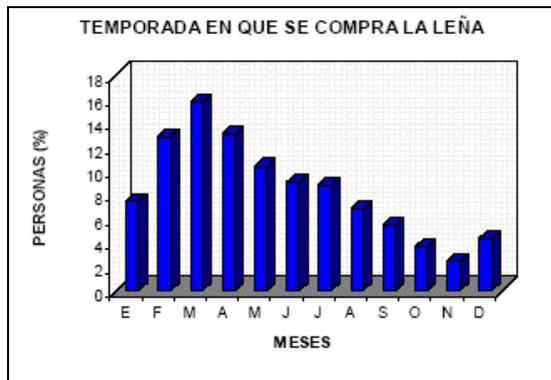


Figura 10. Compra de leña Temuco

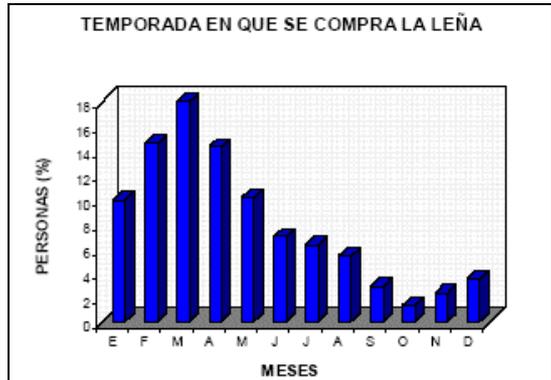


Figura 11. Compra de leña Padre Las Casas

Fuente: Estudio Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas", Universidad de Concepción 2002

Además se realizó una toma de muestras en los puntos de venta, para obtener el contenido de humedad de la leña que se comercializa. La siguiente figura muestra los resultados de este análisis.

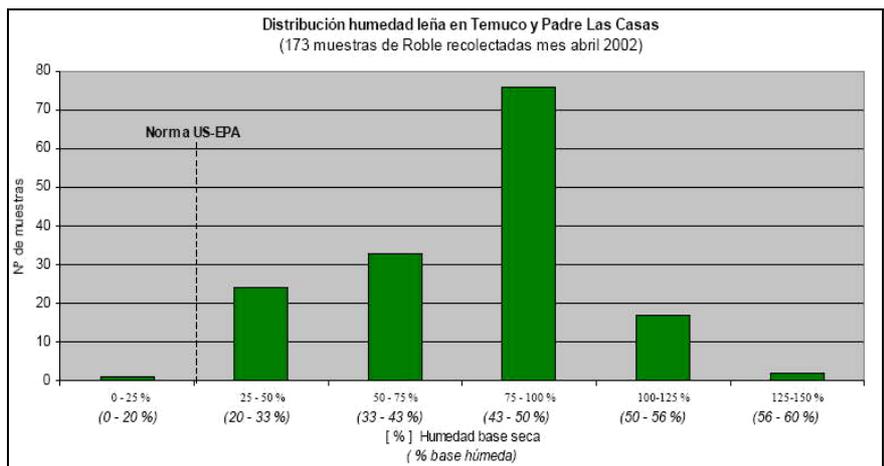


Figura 12. Distribución de Humedad de la leña en muestras de distribuidores.

Fuente: Estudio Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas", Universidad de Concepción 2002.

De la figura anterior se desprende que gran parte de la leña existente en los distribuidores presenta altos contenidos de humedad al momento de la toma de las muestras.

El estudio hace un análisis de la cadena productiva de leña para combustión residencial y propone factores de emisión que varían de acuerdo al contenido de humedad según curvas obtenidas de un estudio Alemán²² para un calefactor a leña.

²² H.Hartmann, "Emissionsverhalten von Feuerungsanlagen", Landtechnik Weihenstephan, TUM, 2000.

El siguiente grafico muestra la variación de emisiones respecto del porcentaje de humedad en base húmeda de la leña.

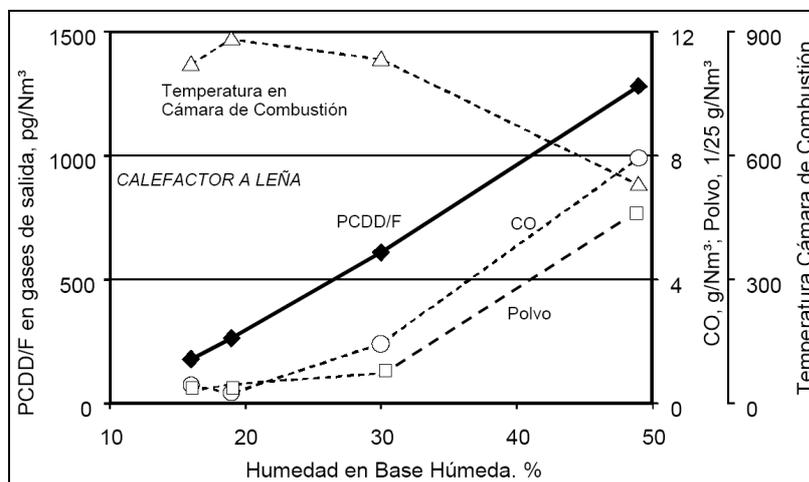


Figura 13. Emisiones de un calefactor v/s humedad de la leña
 Fuente: Estudio Universidad de Concepción.

La figura muestra la influencia del grado de humedad de la leña respecto de las emisiones, donde al superar el 30% en base húmeda las emisiones crecen rápidamente para CO y PM.

g) Estudio “Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinf Feuerungsanlage - Emissionen und Aschequalität”

En septiembre del año 2000, el Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München-Weihenstephan publico los resultados de mediciones realizadas en combustión de biomasa. Para las pruebas se utilizo leña de abeto.

Las siguientes figuras muestran la variación en las emisiones de MP, CO y NOx al variar la humedad de la leña utilizada.

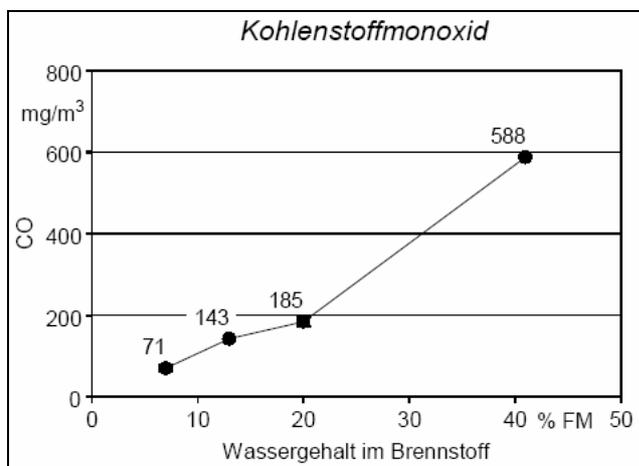


Figura 14. Emisiones de CO v/s humedad.

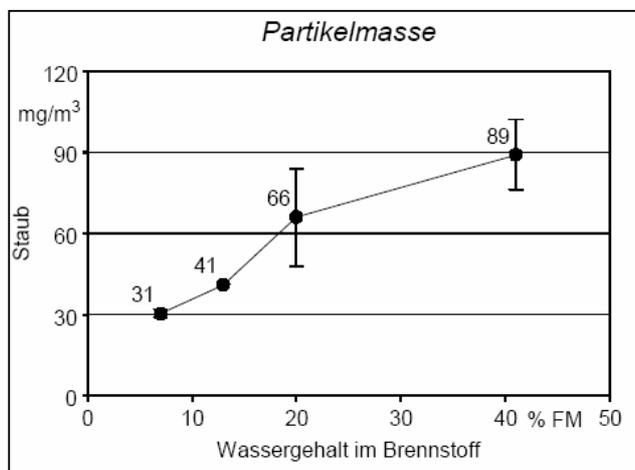


Figura 15. Emisiones de PTS v/s humedad.

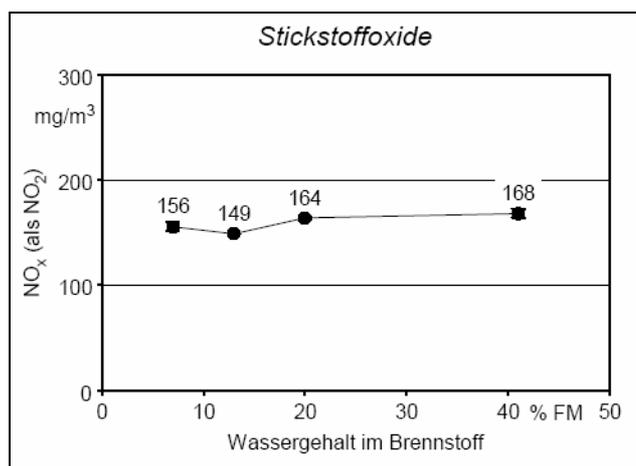


Figura 16. Emisiones de NOx v/s humedad.

Las figuras anteriores muestran una clara variación en las emisiones al superar el 20% de contenido de humedad en la madera utilizada para las emisiones de CO y PTS. Las emisiones de NOx no muestran esta tendencia, manteniéndose en niveles estables al aumentar el contenido de humedad de la leña.

h) Estudio “Estudio de Secado de Leña y Equivalencias de unidades de comercialización”

Durante el año 2004 La Universidad Católica de Temuco desarrollo el estudio: “*Estudio de Secado de Leña y Equivalencias de unidades de comercialización*”, en donde se obtuvo una curva de secado para leña de Roble²³ en condiciones naturales.

Según este estudio, la leña de Roble en condiciones de secado natural baja rápidamente su contenido de humedad. Como muestra la siguiente figura, entre los meses de Noviembre y Abril es posible obtener contenidos de humedad de un 30% en base seca en astillas para combustión lenta. La siguiente figura muestra la curva de secado obtenida.

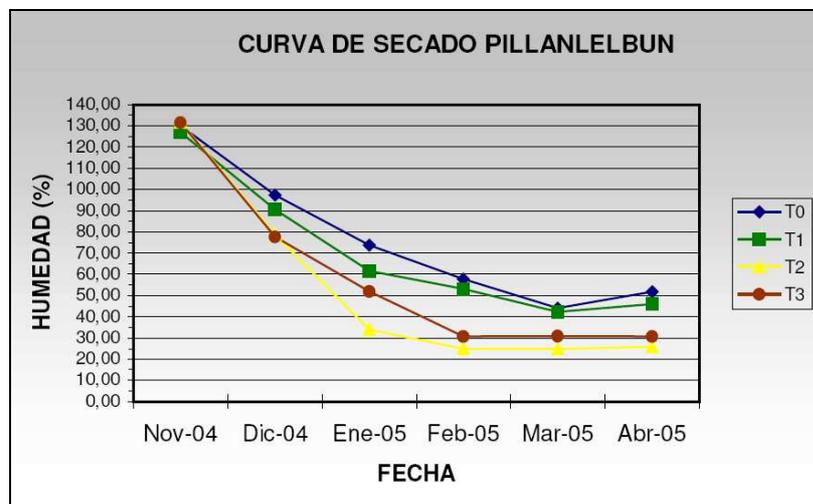


Figura 17. Curva de secado de leña de roble para el período Noviembre Abril. Humedad en base seca.

Fuente: Estudio de Secado de Leña y Equivalencias de unidades de comercialización, Universidad Católica de Temuco.

Donde:

T0: Trozos de 1 metro.

T1: Leña en trozos de 1 metro con rieles y cobertura.

T2: Leña en astillas para combustión lenta con rieles y cubierta de polietileno.

T3: Leña en astillas para combustión lenta sin rieles y sin cubierta de polietileno.

De la figura se desprende que la leña alcanza un estado en que prácticamente no sigue perdiendo humedad, esto es un 25% aproximadamente para la muestra T3 y de un 30% para la

²³ En la IX región la especie Roble explica el 80% del consumo de leña, de acuerdo a un estudio realizado por la Universidad de Concepción y CONAMA, (2001).

muestra T2 antes de cumplir cuatro meses de secado natural en época de temperaturas mas elevadas.

i) Datos de humedad de leña proveniente de la encuesta de consumo de leña DICTUC 2007.

Dentro del marco del presente estudio se realizo una encuesta de consumo de leña para las comunas de Temuco y Padre las Casas, en donde se caracterizo el consumo con: volumen, estacionalidad, artefactos a leña existentes y tipo de uso entre otras variables.

Dentro de los resultados obtenidos se tiene que mas del 90% de los encuestados dicen dejar secar la leña antes de usarla durante al menos un mes. La siguiente figura muestra la distribución del tiempo que las personas dejan secar la leña antes de utilizarla.

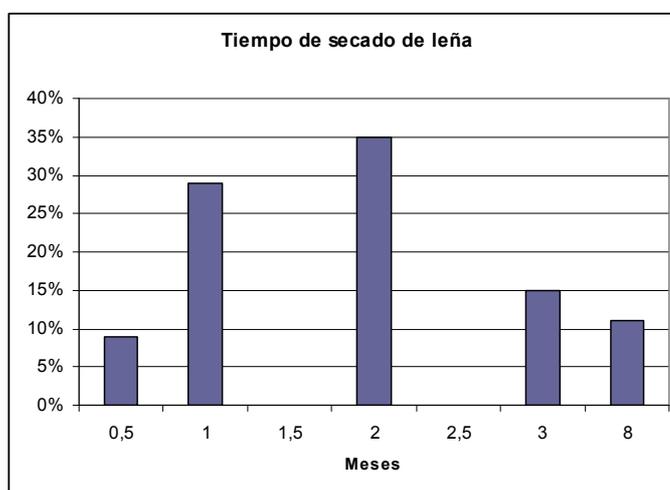


Figura 18: Tiempo de secado de la leña, encuesta DICTUC-2007

Un 61 % dice utilizar leña seca, un 33% semi húmeda, un 5% húmeda y un 1% no sabe el estado de la leña que utiliza. Independiente de esto todos los encuestados manifestaron preferir utilizar leña seca.

Además, más del 80% de los encuestados utilizan leña de hasta 15 centímetros de diámetro, lo que facilita la perdida de humedad. Y un 72% utiliza leña de Roble en sus artefactos.

El consumo de leña en el área de estudio crece rápidamente después del mes de marzo y solo comienza a decrecer en el mes de octubre, como lo muestra la siguiente figura.

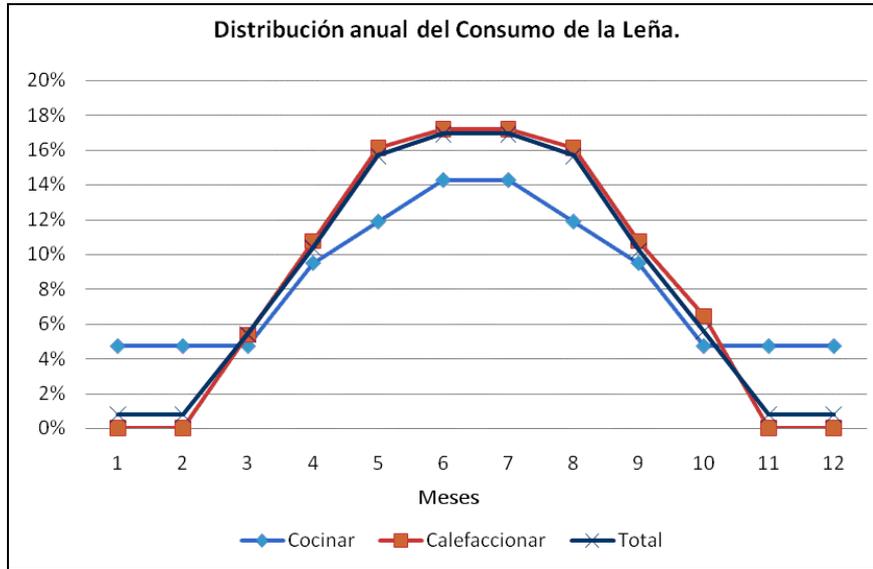


Figura 19: Distribución anual del consumo de leña.

Fuente: Encuesta DICTUC 2007

3.3.2.3.1 Conclusión respecto a la determinación de los factores de emisión

Luego del análisis de los factores de emisión entregados por los distintos estudios revisados, se concluye que respecto a las emisiones de material particulado, éstas deben ser cuantificadas utilizando factores de emisión caracterizados en función del tipo de operación del calefactor respectivo, dada la marcada diferencia en emisiones dependiendo del modo de operación del artefacto y su influencia en las emisiones totales a obtener. Además es necesario considerar el grado de humedad de la leña utilizada, pues este factor es determinante al momento de estimar las emisiones generadas.

Por lo tanto se estima adecuado utilizar como valores base para una operación típica con leña de hasta 20% de humedad en base húmeda (considerada leña seca), los valores obtenidos por el estudio Suizo para emisiones de PM, desarrollado por Nussbaumer 2006, para el caso de calefactores de combustión lenta de doble cámara

Para las emisiones de Cocinas a leña utilizo el factor sugerido por la Universidad de Concepción en el estudio antes citado como factor base para operación típica.

Respecto a las emisiones de gases provenientes de la combustión de leña, se estima que los valores más apropiados para utilizar en el presente estudio (y así se ha determinado también dentro del estudio “Actualización del Inventario de emisiones atmosféricas de la Región Metropolitana” desarrollado por CONAMA RM, 2007) se refieren a los entregados por el EIIP como valores por defecto, lo cual se justifica dada la inexistencia de valores representativos de artefactos chilenos medidos en condiciones reales de operación. Por otra parte, es importante aclarar que en Estados Unidos la normativa vigente permite contenidos de humedad máximo de un 20 % en base húmeda y por tanto los valores por defecto recomendados por el EIIP serán tomados como factores base para el caso de leña seca.

Si comparamos las gráficas correspondientes al período en que la gente compra la leña, el período en que esta es consumida, el tiempo que declararon dejar secar la leña y los contenidos de humedad medidos en las leñerías, es posible concluir que aun existiendo altos contenidos de humedad en la leña presente en las leñerías, existe un período de secado previo al consumo de la leña suficiente (4 meses aproximadamente) y que según la Figura 17 implicaría leña de consumo domiciliario no excedería en ningún caso el 40% de humedad en base húmeda, sumando a esto, que además las leñerías primero venden la leña seca de su stock.

Por otra parte, para la distribución de contenidos de humedad se utilizaran los resultados obtenidos de la encuesta DICTUC para diferenciar que porcentaje se consume seca, semi húmeda o húmeda. Al tipo de leña seca, semi húmeda y húmeda se asigno un rango de humedad (en base húmeda), tomando como valor máximo el descrito en el párrafo anterior, esto es:

Seca : 0 – 20%
Húmeda : 21 – 30% promedio 25% para efectos de corrección

Página 89 de 89

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

Para considerar el efecto del contenido de humedad presente en la leña sobre las emisiones, se utilizó la tasa de aumento en las emisiones provenientes del estudio Alemán²⁴ citado por el estudio de la Universidad de Concepción, con lo cual se obtuvieron factores de corrección para los factores de emisión de PM y CO; se consideró una tasa de incremento para las emisiones de COV igual a la de CO.

Finalmente se consideró el modo de operación en los equipos que permiten controlar el paso de aire: Calefactores combustión lenta sin templador, Calefactores combustión lenta con templador y modelos Insert, para asignar el modo de operación de “mala operación” (descrito en el estudio Suizo) en los casos en que los encuestados declaraban utilizar el calefactor con el paso de aire completamente cerrado.

3.3.2.3.2 Especiación

Dentro del estudio del Desert Research Institute²⁵ se expone que del contenido total de material particulado emitido por la fuente de combustión residencial el 95,8% corresponde a la fracción respirable menor a 10 μ m y 93,1% corresponde a PM2.5, siendo estos últimos valores los que serán utilizados como referencia para el presente estudio.

La siguiente figura muestra la distribución por tamaño de partícula para los distintos tipos de fuentes generadoras de material particulado, según lo indicado por la referencia citada anteriormente.

²⁴ H.Hartmann, “Emissionsverhalten von Feuerungsanlagen”, Landtechnik Weihenstephan, TUM, 2000.

²⁵ Reconciling Urban Fugitive dust Emissions Inventory and Ambient Sources Contribution Estimates..”, DRI, Desert Research Institute 1999.

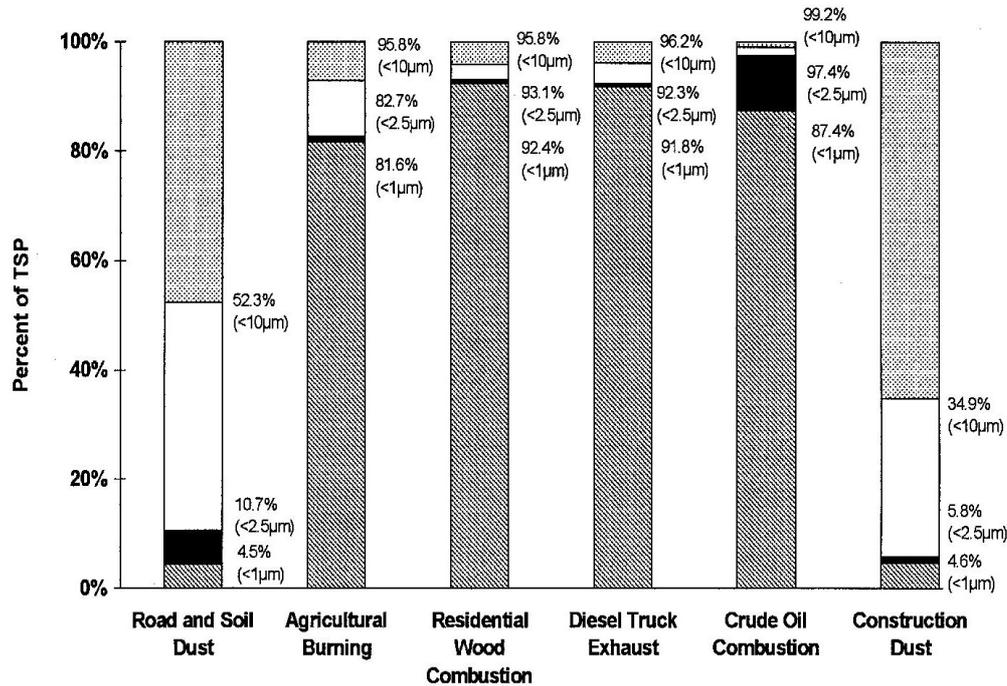


Figura 20. Distribución de tamaño para distintos tipos de fuentes de MP.

Factores de emisión

Se obtuvieron FE según las categorías que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 48. Categorías de humedad (base húmeda) consideradas.

Categoría	Contenido de humedad
Seca	0 – 20%
Húmeda	21 – 30%

Estas categorías corresponden al estado en que se encuentra la leña al momento de ser utilizada por los consumidores, según resultados de la encuesta realizada en el marco del presente estudio, donde se consultó al encuestado el estado en que se encontraba la leña al momento de ser utilizada.

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión asignados a cada tipo de artefacto por contenido de humedad y tipo de operación, utilizados para el cálculo de emisiones.

Tabla 49. Factores de emisión asignados a cada artefacto por contenido de humedad y tipo de operación (gr/kg).

Artefacto	Contaminante	Humedad (Base Húmeda)		
		0-20 (Típica)	21-30 (*)	Mala operación
Cocina a leña	MP	(a) 20,0	32,3	-
	MP10	19,2	30,9	-
	MP2,5	18,6	30,1	-
	CO	126,3	401,0	-
	NOX	1,3	1,3	-
	COV	114,5	363,5	-
	SOX	0,2	0,2	-
Combustión lenta-calefactor a leña sin templador -calefactor a leña con templador / Insert	MP	15,7	25,3	(b) 79,3
	MP10	15,0	24,2	76,0
	MP2,5	14,6	23,5	73,9
	CO	115,4	366,4	584,7
	NOX	1,4	1,4	1,4
	COV	26,5	84,1	134,3
	SOX	0,2	0,2	0,2
Salamandra / Chimenea tradicional / Brasero / Horno barro o ladrillo / Otro	MP	18,1	29,2	-
	MP10	17,3	27,9	-
	MP2,5	16,8	27,1	-
	CO	126,3	401,0	-
	NOX	1,3	1,3	-
	COV	114,5	363,5	-
	SOX	0,2	0,2	-

(a) FE Estudio de Universidad de Concepción

(b) FE a partir de "Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile", CONAMA – COSUDE (2006)

(*) FE obtenidos con correcciones a partir de estudio alemán

Es necesario considerar además la nueva norma de emisiones de artefactos de uso residencial que combustionan con leña. Se considero su entrada en vigencia en el año 2009, y según esto la exigencia gradual por periodos. La siguiente tabla detalla los periodos y la norma de emisión aplicable a cada periodo:

Tabla 50. Factores de emisión de MP10 exigidos por nueva normativa, aplicados en forma gradual.

	Periodo	FE MP10 (gr/Kg)	FE MP10 (gr/Kg) *
Norma gradual	2009	1,8	3,5
	2010-2012	1,0	1,8
	2013-2015	0,5	1,0

Fuente: análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de Emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con Leña y otros combustibles de biomasa. CONAMA.

*: Factores corregidos por tipo de leña utilizada en Chile (AGIES).

Para el cálculo de emisiones escenario 2010 y 2015 se considero como factor de emisión base el valor corregido por el tipo de leña utilizado en Chile²⁶.

Para el resto de los contaminantes se considero como factor de emisión base el correspondiente a un calefactor de combustión lenta con templador.

3.3.2.4 Combustión residencial de Leña, Desarrollo de la Encuesta

En esta sección se da cuenta de las siguientes actividades:

1. Revisión de la información disponible
2. Antecedentes Previos para el Diseño de la Encuesta para Temuco y Padre Las Casas 2007
3. Diseño de la Muestra
4. Factores de Expansión de la Muestra
5. Diseño del Formulario de Encuesta
6. Implementación de la encuesta
7. Aplicación de la Encuesta

A continuación se presenta un detalle para cada actividad.

²⁶ Análisis general del impacto económico y social del plan de descontaminación atmosférica de Temuco y padre las casas. AGIES.

3.3.2.5 Revisión de la información disponible

1. Estudio “Diagnóstico del mercado de la leña en Chile” (U. de Chile- CNE, 2005)

Este estudio finalizado el año 2005, fue preparado para la Comisión Nacional de Energía por el Centro de Microdatos de la Universidad de Chile. En el estudio se diseñó y utilizó un modelo de demanda, a partir del cual se proyectó para el año 2003, para la IX Región un consumo anual de leña en la zona urbana y rural de 461.674m³ sólidos y 1.023.390m³ sólidos respectivamente.

El estudio señala además una serie de recomendaciones que son pertinentes para el desarrollo de futuras encuestas, algunas de estas recomendaciones son:

- Mantener módulos de consumo de leña de las encuestas recientes. Con objeto de mantener la comparabilidad de la información con las encuestas realizadas durante los últimos 5 años.
- Adoptar las preguntas socioeconómicas de la encuesta CASEN.
- Incluir pregunta sobre el ingreso del hogar. Esta variable es clave para poder analizar los patrones de consumo según nivel socioeconómico, estimar elasticidades ingreso de la demanda por leña y otros usos. Las encuestas de Temuco (VITAE, 2002) y la X Región (DECON-CNE, 2005) incluyen esta variable de ingreso.
- Factores de expansión. Esta información es vital para obtener estimadores insesgados de parámetros poblacionales, especialmente si la encuesta tiene un diseño multietápico o estratificado.

2. Estudio sobre consumo de leña a hogares de Valdivia, Osorno, La Unión y Río Negro. Julio de 2004 (DECON-CNE, 2005)

Este estudio fue ejecutado por el Departamento de Economía de la U. de Chile para la CNE (DECON-CNE, 2005). El estudio muestra los resultados sobre consumo de leña a hogares de Valdivia, Osorno, La Unión y Río Negro, implementadas en Julio de 2004. El diseño muestral correspondió a un diseño probabilístico de conglomerados, multietápico y estratificado geográficamente, no incluyó mecanismos de reemplazo de no-respuesta.

Para el presente estudio se ha considerado de interés los contenidos de la encuesta (Ver anexo A), que podrían complementar y/o modificar los contenidos del formulario de VITAE (Ver anexo B).

La encuesta residencial comprendió 6 módulos (se cita textualmente):

a) Composición del hogar: Este módulo tiene por objetivo caracterizar el hogar en función del número de integrante, sus relaciones de parentesco, sexo, edad, nivel educacional y situación laboral.

b) Equipamiento del hogar y energía utilizada: Este módulo tiene por objetivo realizar un inventario del equipamiento del hogar en cuanto a los artefactos que consumen energía y sus características (tipo, uso, tecnología, antigüedad, estado de conservación y energía o combustible utilizado) y obtener el precio y consumo de energía o combustibles distintos a la leña.

c) Consumo de leña durante un año normal: Este módulo tiene por objetivo estimar el precio y consumo de leña del hogar (volumen). Además, se incorporarán preguntas destinadas a conocer la forma de abastecimiento (tipo de leña, proveedor, frecuencia de compra, forma de almacenamiento, tratamiento de secado antes de usarla y precio).

d) Estacionalidad del consumo de leña y Caracterización del Consumo: Este módulo tiene por objetivo estimar la estacionalidad del consumo de leña del hogar en cuatro períodos: Primavera, Verano, Otoño e Invierno. Además, se incorporan preguntas destinadas a conocer el uso de cada artefacto por estación del año.

e) Valoración Contingente: Este módulo tiene por objetivo estimar la disposición a pagar por leña para caracterizar la demanda por este combustible. En esta sección se presenta un escenario de aumento del precio de la leña al encuestado y se mide su reacción en el uso de la leña y compra de artefactos. Con este fin, en la encuesta se aplicaron 6 formularios distintos, los que difieren en dos aspectos: primero, el factor de aumento del precio de la leña (W) para ver el grado de sustitución por otros combustibles, se utilizaron tres factores: 1.5 (Aumenta en un 50% el precio), 2 (aumenta en un 100% el precio) y 3 (aumenta en un 200% el precio), y segundo, se probaron dos alternativas en las posibilidades de comprar una cocina a gas licuado ante el aumento en el precio de la leña: cocina de 4 platos y cocina de dos platos (Pregunta 32 Formulario, ver Anexo A).

f) Características de la Vivienda y Nivel Socioeconómico del Hogar

3. Estudio Inventario de emisiones para Temuco y Padre Las Casas (VITAE-CENMA-CONAMA, 2002)

La encuesta se aplicó durante octubre y noviembre del año 2001, en la zona urbana de las comunas de Temuco y Padre Las Casas. El muestreo utilizado fue del tipo probabilístico, estratificado, por conglomerados y biepático.

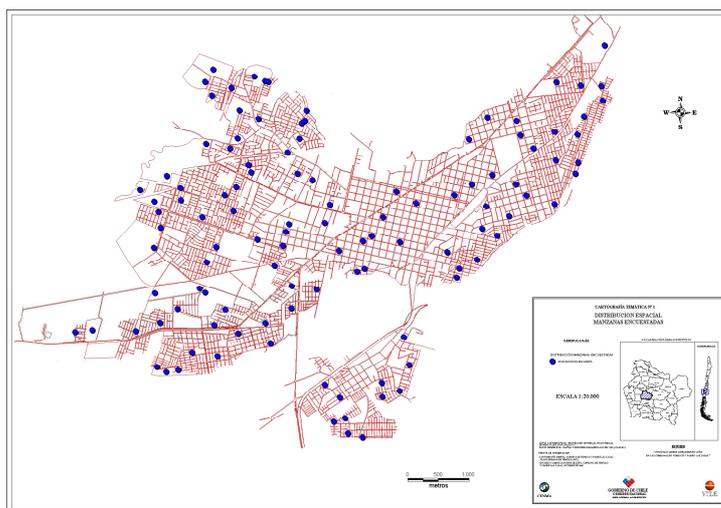


Figura 21: Mapa temático distribución espacial manzanas encuestadas
 Fuente: VITAE-CENMA-CONAMA, 2002.

Los resultados de la encuesta indican que para el año 2001, el consumo anual de leña estimado para la comuna Temuco - Padre Las Casas fue de 197.663 m³ sólido de leña equivalentes a 329.439 m³ estéreos de leña. El distrito con mayor consumo anual de leña es “Estadio Municipal” con 32.567 m³ seguido por los distritos “Padre Las Casas”, “Avenida Alemania”, “Pueblo Nuevo” y “Sector 2-9” con un consumo entre 24.847 m³ a 21.603 m³.

El error muestral estimado para el consumo anual de leña es de 13.670 m³ lo que implica un error estadístico de 14 % para esta variable:

Estimación	Error Estándar	[95% Conf. Interval]	Deff
197.633	13.670	170.593 224.733	2.370

Fuente: tomado del estudio de CENMA-VITAE 2002.

Tabla 51. Resumen de la estimación del error muestral de consumo anual de leña (m³):

Nivel de Estimación	Estimación M3	Error Estándar	Intervalo de Confianza (95%)		E. Diseño
			L. Inferior	L. Superior	
Total	197.663	13.670	170.593	224.733	2,370386
Otoño	35.879	3.085	29.769	41.989	2,082461
Invierno	145.355	10.760	124.048	166.662	2,544608
Primavera	14.294	1.625	11.077	17.512	1,649740
Verano	2.134	497	1.150	3.118	1,683276
Cocina	98.885	10.951	77.198	120.572	2,501820
Salamandra	13.456	2.703	8.103	18.809	1,164562
Estufa C.Simple	32.403	5.869	20.781	44.025	1,893897
Estufa C.Doble	44.958	8.614	27.900	62.015	2,993138
Chimenea	7.945	5.300	-2.549	18.440	2,940764

Fuente: Tabla tomada del estudio de CENMA-VITAE 2002.

Al analizar el consumo anual de leña por distrito, es importante tener presente que el coeficiente de variación promedio es de un 32%, lo que entregaría errores de muestreo cercanos a un 63%, incluso en algunos distritos, tales como Ñielol, el error de muestreo alcanzaría a un 130%. Ver Tabla.

Tabla 52. Resumen de la estimación del error muestral por distrito por consumo anual de leña (m³):

Distrito	M3 Año	D.Est.	D.E.xHog	Obs	Poblac	C.Var,	Error
Centro	5.503	2.003	3.78	26	3.048	36,4%	71%
E.Munic	30.808	6.179	5.35	107	9.729	20,1%	39%
Amanecer	16.189	5.151	2.69	91	7.587	31,8%	62%
Sta. Elena	5.982	1.900	3.84	54	3.915	31,8%	62%
Santa Rosa	18.777	6.009	3.25	55	7.800	32,0%	63%
P.Nuevo	21.330	6.826	3.67	90	6.150	32,0%	63%
Ñielol	5.357	3.554	7.59	11	902	66,3%	130%
Lanín	6.440	2.225	2.85	48	3.731	34,5%	68%
Av. Alemania	22.172	4.562	3.86	56	5.863	20,6%	40%
Labranza	6.709	2.903	2.03	21	1.966	43,3%	85%
P.Las Casas	21.849	4.994	2.95	91	12.000	22,9%	45%
Sector 2 9	12.847	2.447	3.14	96	6.656	19,0%	37%
Total	173.960	12.172	3.84	742	69.245	7,0%	14%

Obs. Los valores en amarillo han sido estimados

Fuente: Tabla tomada del estudio de CENMA-VITAE 2002.

El siguiente análisis fue desarrollado el 2002 por el mismo asesor estadístico que evaluó la encuesta de VITAE y que en la actualidad forma parte del equipo del presente estudio:

Los errores asociados a la estimación de consumo en los distritos, hacen que se tengan extremo cuidado al tomar decisiones sobre el interior de cada uno de ellos, pues el verdadero valor del consumo anual de leña en ese distrito, puede diferir en un porcentaje alto, del promedio entregado.

- El error de la muestra, sobre el consumo total anual

Con respecto a la principal variable de interés, que es el consumo anual de leña en Temuco y Padre las Casas, el valor promedio estimado en la encuesta es del orden de 173.960 m³, con un error de muestreo de un 14%, esto significa, según los datos de la encuesta, que el verdadero valor del consumo anual de leña en Temuco y Padre las Casas, está en el intervalo [149.857;198.064] m³, con un nivel de confianza del 95%.

Es importante observar que al pasar al consumo total de leña para la región, el coeficiente de variación, disminuye a un 7%, entregando un error muestral de un 14%. Esta drástica variación, con respecto a la variabilidad de los distritos, es debido principalmente a dos efectos. El primero es al aumento en el número de observaciones, pues se suman las observaciones de todos los distritos, y el segundo es que la varianza entre los estratos no aumenta fuertemente, de hecho cálculos preliminares, hacen suponer que la varianza al interior de los distritos afecta en un 30% y la varianza entre los distritos aporta un 70% a la varianza total, aun siendo un porcentaje alto, el aporte en valor absoluto no es grande, lo que significa una homogeneidad en el consumo de leña en la zona. La variabilidad del consumo por distrito, es debida principalmente al tamaño que estos tienen, y no al consumo por hogar.

La hipótesis anterior se ve reforzada al hacer el análisis sobre la variabilidad del consumo anual de leña por hogar. Los datos entregados en la encuesta muestran promedios por distritos muy similares, y al separar las componentes de la varianza se observa que la mayor contribución la hace la varianza al interior de cada distrito con un aporte del 91%, mientras que la varianza entre los distrito aporta sólo un 9%. Este importante efecto de homogeneidad entre los distritos, juega un papel fundamental en la disminución del error de muestreo al considerar el total de consumo de leña anual.

- Otras fuentes de error

Existen al menos dos fuentes de errores importantes en la encuesta que pueden afectar los resultados anteriores, y cuyo impacto en los errores no han sido cuantificados.

La obtención del **consumo por hogar**: La pregunta abierta del consumo anual de leña, tiene en si una componente de aleatoriedad, puesto que el valor que declara el encuestado, es solo un “promedio”, o una idea “mental”, en la encuesta es solo recogido al dato entregado por el encuestado y no se hace análisis sobre este valor. De este punto de vista no es posible decir que se obtuvo el consumo anual de leña para las comunas de Temuco y Padre las Casas, sino que debe decirse que se obtuvo lo que las personas declaran que consumen en el año en leña

para las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Diferencia sutil, pero que enfatiza el hecho de que no ha habido medición ni seguimiento de cuanto consumo un hogar.

Conversión de unidades. El efecto de la conversión de las unidades de medida en m³, también trae como consecuencia un error que no ha sido dimensionado. Los factores de conversión usado, tiene la componente del número promedio que hace la conversión, pero no hay información sobre la variabilidad de este número.

Básicamente con objeto de reducir el error en el nivel de estimación se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Modificar la pregunta sobre estacionalidad del consumo. Se cree que es dificultoso diferenciar entre estaciones, además se constata que el periodo de interés de consumo de leña se inicia desde marzo hasta aproximadamente mediados de octubre.
- En el caso de los equipos, reforzar en la capacitación a los encuestadores sobre el tipo y reconocimiento de cada equipo. Se propone no distinguir entre calefactor doble cámara y calefactor simple, dado que se constata que en esta clasificación habría confusión en la respuesta. En la encuesta se obtendrá el tipo de calefactor según marca.

3.3.2.6 Antecedentes Previos para el Diseño de la Encuesta para Temuco y Padre Las Casas 2007

Se revisaron distintas encuestas disponibles²⁷. Se concluye que la encuesta aplicada en la X Región integra más información que la de VITAE. A opinión del consultor esta encuesta es recomendable para ser adaptada y complementada con la de VITAE para la realidad local de Temuco y Padre Las Casas.

Por ejemplo:

- En la encuesta de la X Región se pregunta de otra forma sobre la cantidad de leña a utilizar en los meses más fríos, evitando con esto preguntar sobre el porcentaje consumido por estación del año (Ver anexo A). De la encuesta de VITAE se rescata la pregunta sobre la marca de los artefactos.
- Respecto a las unidades utilizadas en los distintos formatos de adquisición de la leña se utilizó:
 - metro (metro estéreo)
 - metro lineal
 - saco
 - canasta
 - OTRA (mencionar)

²⁷ Se revisaron encuestas de estudios de consumo de leña realizados en Rancagua, Chillán, Coyhaique, etc.

De esta forma el formulario comprende los siguientes ítems y variables:

A. Patrones relativos al uso y consumo de combustibles, en particular de leña

- Utilización de fuentes de energía en los hogares de Temuco y Padre las Casas
- Distribución del uso de fuentes energéticas por actividad
- Precio y consumo de combustibles distintos a la leña, en particular gas licuado, gas de red y parafina.
- Distribución del consumo de leña según actividad.
- Motivación en el uso o no de leña.

B. Cuantificación del consumo de leña

- Consumo total
- Consumo anual por hogar (que consume leña)
- Consumo anual por hogar según grupo socioeconómico

C. Tipología de artefactos y periodos de encendido

- Características de los equipos utilizados:
 - o años de antigüedad
 - o tipo
 - o marca
- Período y horarios de funcionamiento de los equipos
- Formas de operar (*No esta considerado en ninguno de los formularios revisados*)

D. Abastecimiento de la leña

- Forma de obtención de la leña
- Frecuencia y estacionalidad de compra de los combustibles de madera
- Formalidad de la comercialización
- Gasto anual estimado asociado al consumo de combustibles de madera
- Principales establecimientos o vendedores de leña del cual se abastece (mención por lo menos a dos)

E. Sustitución de combustibles de madera

- Disposición al cambio.
- Disposición a pagar por cambio de combustibles de madera según grupo socioeconómico.

3.3.2.7 Población y Diseño Muestral

a) Población Universo

El universo de este estudio comprende las viviendas particulares urbanas de las comunas de Temuco y Padre Las Casas. La evolución que estas han mostrado en los censos anteriores se encuentra en la tabla 1. En ella, se muestra que en 10 años la población urbana ha aumentado un 25% en Temuco y un 36% en Padre las Casas. La evolución para los años siguientes se muestra en la tabla 2, que muestra variaciones quinquenales de 9,8% y 9,9% para Temuco y Padre las Casas, respectivamente.

Tabla 53. Datos Censales

Comuna	Datos Censales		Variación
	1992	2002	
Temuco	185.936	232.528	25%
Padre Las Casas	24.651	33.697	36%
Total	210.587	266.225	-

Fuente: INE, Censo de Población y Vivienda, 2002,

Tabla 54. Proyecciones de crecimiento poblacional

	2000	2005	2010	Variación 2000-2005	Variación 2005-2010
Temuco	250.277	276.759	303.813	10,6%	9,8%
PLC	60.219	66.776	73.396	10,9%	9,9%

Fuente. Síntesis Estadística Regional – 2006. INE región de la Araucanía.

Los datos de las tablas anteriores, fueron considerados para proyectar la población tomada en el Censo de Abril del 2002 a Abril del 2007. En ese lapso han transcurridos 5 años, por lo que la variación será estimada como la variación quinquenal para cada comuna. Las estimaciones se entregan en la tabla 3

Tabla 55. Población viviendas urbanas por comuna.

Comuna	Censo 2002		Proyección 2007	
	Población	Viviendas	Población	Viviendas
Temuco	232.528	63.527	255.258	69.737
Padre Las Casas	33.697	9.344	37.038	10.270
Total	266.225	72.871	292.296	80.007

Fuente: INE, Censo de Población y Vivienda, 2002, proyecciones población INE.

b) Marco muestral y su actualización

El marco muestral que se utilizó para este estudio se basa en los antecedentes del último Censo de Población y Viviendas realizado en el año 2002.

Se diseñó un muestreo del tipo probabilístico, estratificado y bietápico. En cada estrato se seleccionó las muestras de manera probabilística, independientes, que lo representan. La estratificación está dada por las comunas de Temuco y Padre las Casas.

c) Unidades muestrales

Unidades Primarias de Muestreo (UPM): quedaron constituidas por las manzanas de empadronamiento censal (conglomerado de viviendas).

Unidades Secundarias de Muestreo (USM): quedaron constituidas por las viviendas particulares ocupadas en forma permanente al momento de la actualización.

d) Tamaños muestrales

Revisión encuestas anteriores.

En todas las revisiones de encuestas anteriores, sobre consumo de leña en la IX Región, se calcula un tamaño de muestra obtenido a través de la expresión.

$$n \geq \frac{z_{\alpha} pq}{\varepsilon}$$

donde z_{α} es obtenido de acuerdo al nivel de confianza deseado, todas usan $\alpha = 0,05$, lo que entrega $z_{\alpha} = 1,96$. En varias de ellas, se aplican algunos factores, que dan lugar a expresiones del tipo.

$$n \geq \frac{z_{\alpha} pq(1 + eff)}{\varepsilon(1 - TNR)}$$

donde:

eff es el efecto de diseño.

TNR tasa de no respuesta

Los valores reportados en el efecto diseño, es de $eff=0,45$ y $TNR=0,1$. Aplicando estos valores obtenemos la siguiente tabla.

Tabla 56. Tamaño muestral para diferentes valores de p.

p	N	N*
0,1	138	223
0,2	246	396
0,3	323	520
0,4	369	594
0,5	384	619
0,6	369	594
0,7	323	520
0,8	246	396
0,9	138	223

En la tabla anterior se entrega los tamaños de muestra para diferentes valores de p, se muestra además el valor obtenido del tamaño de muestra considerando el efecto diseño N*. El valor usual a encontrar en diferentes tipos de encuestas, independientemente del tipo de preguntas que se realizan, es muestras de tamaño 400, que corresponde a aplicar un 95% de confianza y un $p=0,5$. Tal valor es correcto si la variable a encuestar es del tipo dicotómico. Sin embargo, cuando ya se ha realizado una encuesta entonces es razonable usar la información obtenida, en particular para estimar un valor de p o bien un valor de la varianza, por ejemplo en la encuesta realizada por la Universidad de Concepción, estima que un 68,5% de las personas usa leña en Temuco, luego si fuera ésta la variable a cuantificar, bastarían 332 encuestas para un 95% de confianza. O incluso 235 para un nivel del 90%, (Considerando el efecto diseño, serían 538 encuestas).

El valor de p, se supone que corresponde a la probabilidad de éxito de algún suceso. Esta expresión es válida sólo cuando la variable a encuestar es de tipo dicotómica, es decir toma solo dos valores. Tal es el caso de una pregunta como ¿Usa Leña? cuya respuesta se tipifica como si o no. En estos casos es posible usar la expresión anterior

De la revisión de los estudios anteriores, no se puede concluir cual fue la variable a controlar para determinar el tamaño de muestra, en todos ellos se aplica la fórmula anterior, sin especificar a que variable se están refiriendo. La aplicación sistemática de esta forma de calcular tamaños de muestra lleva a confusión y errores, como por ejemplo que se da como natural tener encuestas de tamaño aproximado de 400 a 600 encuestas, lo que implica inmediatamente una estimación financiera para levantar esta información.

En el estudio de Vitae, se usa esta fórmula y luego se calcula el error ex post cometido, sobre la variable consumo anual de leña. En tal estudio se tomaron 550 encuestas válidas y el error muestral reportado alcanza un 14%.

En el presente estudio la variable de interés a estudiar es el consumo anual de leña, esta variable, no es dicotómica ni discreta, es continua. Del detalle de los datos de encuestas anteriores de consumo de leña, se puede observar el comportamiento mostrado en el gráfico siguiente.

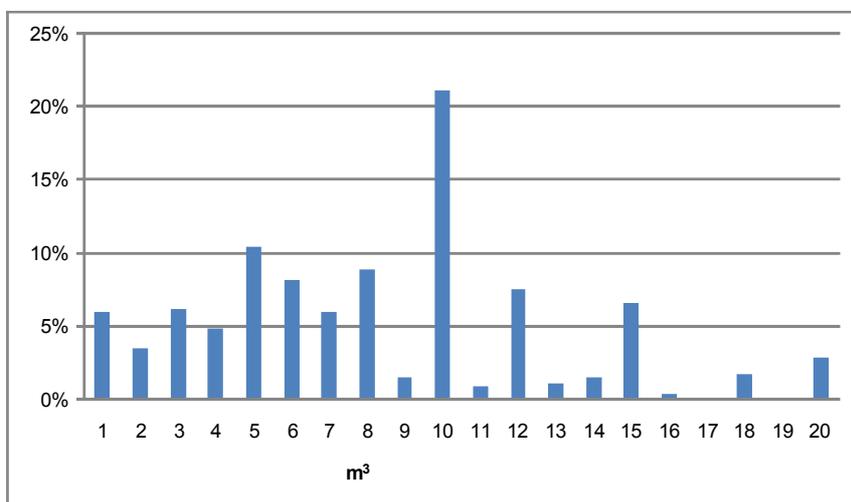


Figura 22. Distribución de los datos de consumo de leña en Hogares

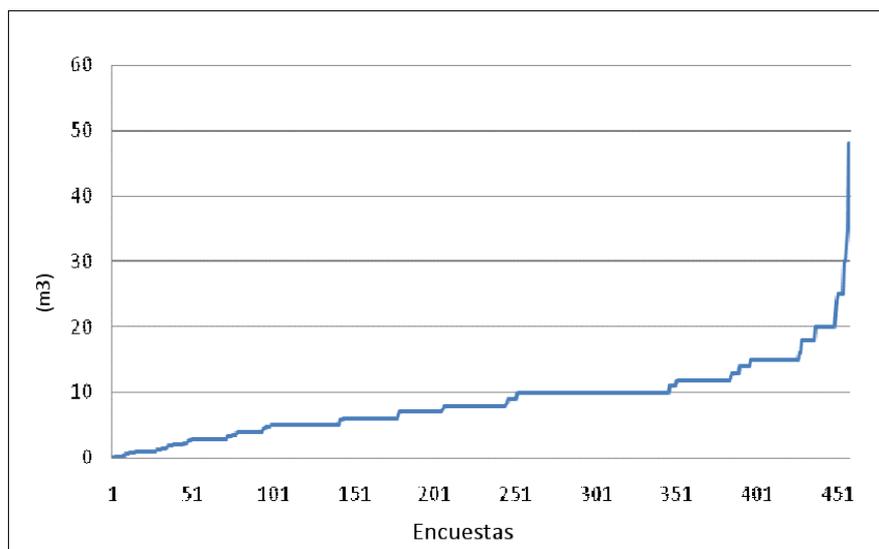


Figura 23. Valores declarados de consumo de leña por hogar, en hogares que la consumen

Los gráficos anteriores muestran que el consumo de leña es una variable aleatoria continua, con valores entre 0 y 50 M³ estereos.

De la forma de la distribución de consumo, y bajo los supuestos del teorema central del límite, se obtiene que la expresión adecuada para el cálculo es del tipo.

$$n \geq \frac{z_{\alpha} \sigma^2}{\varepsilon^2}$$

donde el error esta medido en m^3 y no en porcentaje. (Es de la forma $\varepsilon = p * \bar{X}$)

d) Selección de la muestra

Selección de encuestas por estratos

Se seleccionaron el número de encuestas de acuerdo a con la Probabilidad Proporcional a su Tamaño (PPT), medido en número de hogares en Temuco y Padre las casas, resultando 542 encuestas para Temuco y 80 en Padre Las Casas.

Selección de la muestra primaria

La selección de la UPM se hizo con PPT, medido en número de viviendas particulares ocupadas con moradores presentes a la fecha del Censo de Población y Viviendas de 2002. Es decir, la manzana i , del estrato h tiene una probabilidad de ser seleccionada de

$$p_{hi} = \frac{M_{hi}}{M_h}$$

donde :

M_{hi} : número de viviendas en la UPM i del Estrato h , según el Censo de 2002.

M_h : número de viviendas en el Estrato h , según el Censo de 2002.

Se contó con la información censal del INE del último censo del 2002, con codificación a nivel de distrito, zona censal y manzana. Los resultados obtenidos, se muestran en la siguiente Tabla, donde en la última columna se entregan las encuesta resultantes del la selección al azar por cada distrito.

Tabla 57. Información de base y número de encuesta a tomar en Temuco.

Cdistrito	N.Distrito	N_Hogares	% Distr/Total	Enc x Dist.
1	Centro	3.126	4,9%	27
2	Estadio Municipal	3.136	4,9%	27
3	Amanecer	4.939	7,7%	42
4	Santa Elena	4.590	7,2%	39
5	Santa Rosa	6.127	9,6%	52
6	Pueblo Nuevo	5.543	8,7%	47

7	Ñielol	1.454	2,3%	12
8	Lanín	4.696	7,4%	40
9	Avenida Alemania	4.082	6,4%	35
10	Labranza	3.730	5,9%	32
11	Tromén	1.653	2,6%	14
12	San Carlos	256	0,4%	2
14	Raluncoyán	3.438	5,4%	29
16	Caupolicán	3.611	5,7%	31
17	Universidad	3.738	5,9%	32
18	Javiera Carrera	4.989	7,8%	42
19	Estero Coihueco	4.549	7,1%	39
	Totales	63.746	100,0%	542

Tabla 58. Información de base y número de encuesta a tomar en Padre Las Casas

Cdistrito	N.Distrito	N Hogares	% Distr/Total	Enc x Dist.
4	Padre Las Casas	3.700	40,3%	32
5	Aillacara	5.315	57,8%	46
6	Collahue	174	1,9%	2
		9.189	100,0%	80

Selección de la muestra secundaria

Selección de unidades secundarias.

Para determinar el número de unidades de segunda etapa de muestreo (viviendas) a seleccionar dentro de cada UPM, se considero tomar un máximo de 5 viviendas por manzana, para ello se selecciono al azar aquellas manzanas que debían contar con 5, 4, 3, 2, 1 encuestas para llegar al valor total arrojado por el muestreo.

e) Factores de Expansión de la Muestra

Para la expansión de la muestra, se aplican estimadores no autoponderados de acuerdo con el método del diseño propuesto, incorporando a estos un ajuste de población (proyecciones censales) en cada estrato.

Composición del Factor de Expansión: En teoría el factor de expansión se origina en un diseño de muestra bietápico, estratificado y con selección de unidades de primera etapa con probabilidad proporcional al tamaño de cada estrato (viviendas). La expresión algebraica corresponde a:

$$factor_{kl} = \frac{N_{kl} * n_{kl}^*}{E_{kl} * S_{kl} * n_{kl}}$$

En la expresión presentada se observa que el factor depende de:

Número de viviendas en el estrato, al Censo de 2002.

N_{kl} : El número de viviendas en la manzana k del estrato l, al Censo de 2002.

E_{kl} : El número de encuestas tomada en la manzana k, del estrato l.

S_{kl} : El número de veces que esta seleccionada la manzana k en el estrato l.

n^{*kl} : Número de viviendas en el estrato l según proyecciones para el 2007.

n_{kl} : Número de viviendas en el estrato l según el Censo del 2002.

Los factores anteriormente definidos fueron calculados para cada manzana a encuestar. Se entregan en el anexo de factores de expansión.

f) Diseño del Formulario de Encuesta

La encuesta fue obtenida mediante un largo y riguroso proceso de análisis en cuanto a la confiabilidad de los resultados a obtener. Los Formularios asociados a la Encuesta se presentan en los Anexos A y B.

Implementación de la encuesta

Se subcontrataron los servicios de la consultora ENDEMICA para la ejecución de la encuesta en Temuco y Padre Las Casas. El Jefe de Terreno fue el Sr. Alvaro Valverde, quien se encargó de coordinar, controlar y validar la información que se generó en las encuestas.

Los pasos que se incluyeron en esta etapa fueron:

Empadronamiento de los sectores

La encuesta se aplicó en la zona urbana de las comunas de Temuco Y Padre Las Casas. Para la parte urbana se distinguen los distritos censales, los que se subdividen en zonas censales, éstas en manzanas. Con la finalidad de actualizar el número de viviendas a la fecha de la encuesta y construir el marco muestral de viviendas, se realizó un empadronamiento total de las viviendas particulares ubicadas al interior de las manzanas.

Selección de encuestadores y capacitación

En Mayo del 2007 se seleccionaron y entrenaron a 11 encuestadores con experiencia en encuesta a hogares. En tal fecha se entregó el material de trabajo y las encuestas diarias a realizar.

Foliación y Codificación.

Se les dio a cada encuesta un número de folio para identificarla, por otro lado se les dio códigos a variables abiertas, tales como las preguntas que indicaban otra alternativa diferente a las entregadas

Digitación.

La digitación de la encuesta fue un largo proceso, por lo extenso de la encuesta, este proceso duro 2 meses. En este proceso se digito en el formato de la encuestas cada una de ellas, grabándose con el nombre del folio correspondiente

Validación.

Una vez digitada la encuesta, con el archivo digital de estas, se procedió a validar la consistencia de los datos y los errores de digitación. Este fue un largo procesos que dio lugar a varias revisiones debido a lo extenso de la encuesta.

3.3.2.8 Toma de Encuesta

La encuesta fue realizada entre la segunda semana de mayo y la segunda semana de julio para las comunas de Temuco y Padre Las Casas durante el año 2007.

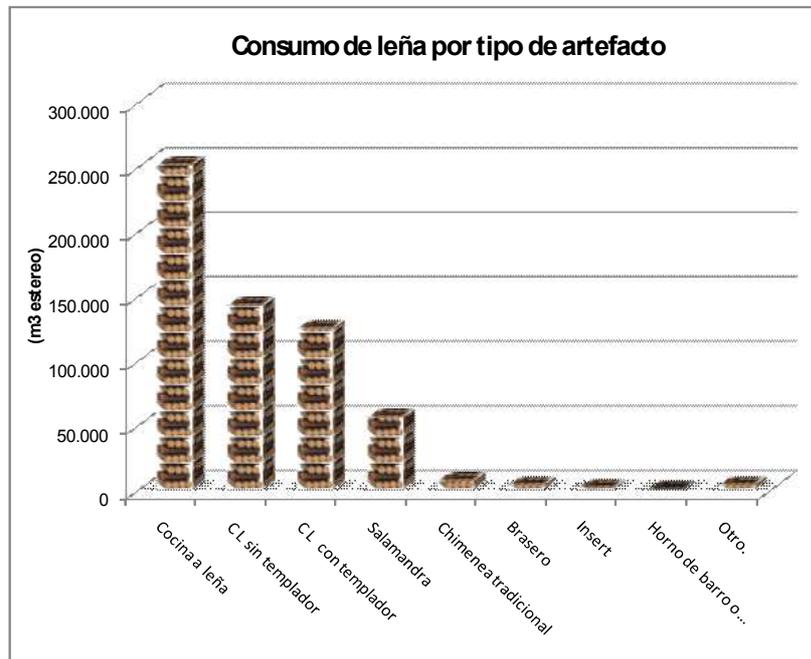
Resultados - Consumo de leña

La siguiente tabla resume los consumos de leña obtenidos a partir de los datos procesados provenientes de la Encuesta de Leña efectuada en Temuco y Padre Las Casas en el marco del presente estudio. Estos datos se utilizaron para efectuar el cálculo de emisiones presentado en los párrafos posteriores.

Tabla 59. Consumo de leña por tipo de artefacto (m3 estéreo), Temuco y Padre Las Casas, 2007.

	Temuco(m3)	PLC (m3)	Total (m3)
1.- Cocina a leña	214.392	36.595	250.987
2.- Combustión lenta-calefactor a leña sin templador	133.328	8.901	142.229
3.- Combustión lenta-calefactor a leña con templador	119.462	4.945	124.407
4.- Salamandra	44.798	10.880	55.678
5.- Chimenea tradicional	5.333	989	6.322
6.- Brasero	2.133	989	3.122
7.- Insert	1067	0	1.067
8.- Horno de barro o ladrillo	0	0	0
9.- Otro	3.200	0	3.200
Total	523.713	63.299	587.012

Fuente: Encuesta de Leña 2007, efectuada en el marco del presente estudio, y procesamiento estadístico posterior.



CL: Calefactor de combustión lenta.

Figura 24. Consumo de leña por tipo de artefacto en el área de estudio.

El detalle de los resultados obtenidos en la encuesta se detalla en el Anexo F.

3.3.2.9 Cálculo de emisiones

Escenario 2005

Las siguientes tablas detallan el consumo y las emisiones para el escenario 2005 para Temuco y Padre Las Casas:

Tabla 60. Consumo de leña por tipo de artefacto (m³ estéreo), Temuco y Padre Las Casas, 2005.

	Temuco (m3)	PLC (m3)	Total (m3)
1.- Cocina a leña	206.302	35.194	241.496
2.- Combustión lenta-calefactor a leña sin templador	128.297	8.560	136.857
3.- Combustión lenta-calefactor a leña con templador	114.954	4.756	119.710
4.- Salamandra	43.108	10.463	53.571
5.- Chimenea tradicional	5.132	951	6.083
6.- Brasero	2.053	951	3.004
7.- Insert	1.027	0	1.027
8.- Horno de barro o ladrillo	0	0	0
9.- Otro	3.079	0	3.079
Total	503.952	60.875	564.827

Fuente: Estimación en base a encuesta de leña 2007, efectuada en el marco del presente estudio, y procesamiento estadístico posterior.

Tabla 61. Emisiones totales combustión residencial de leña (Ton/año) 2005.

	Temuco	Padre Las Casas	TOTAL
MP	4.978,06	632,17	5.610,23
MP10	4.768,98	605,62	5.374,60
MP2,5	4.634,57	588,55	5.223,13
CO	50.671,15	6.254,68	56.925,83
NOX	304,40	36,05	340,45
COV	30.090,78	4.802,99	34.893,78
SOX	40,64	4,91	45,55

La siguiente tabla muestra las emisiones para combustión residencial por tipo de artefacto para la zona de estudio:

Tabla 62. Emisiones totales combustión residencial de leña (Ton/año) por tipo de artefacto año 2005.

Contam	Cocina a leña	Comb lenta sin templador	Comb lenta con templador	Salamandra	Chimenea tradicional	Brasero	Insert	Otro.	Total
MP	2.682,44	1.204,12	1.055,27	537,28	61,01	30,12	9,11	30,88	5.610,23
MP10	2.569,78	1.153,54	1.010,95	514,71	58,44	28,86	8,72	29,59	5.374,60
MP2,5	2.497,35	1.121,03	982,46	500,21	56,80	28,05	8,48	28,75	5.223,13
CO	25.254,09	13.163,39	11.526,65	5.602,11	636,11	314,10	107,37	322,01	56.925,83
NOX	140,65	85,84	75,08	31,20	3,54	1,75	0,60	1,79	340,45
COV	22.894,64	3.022,79	2.646,93	5.078,71	576,68	284,76	97,34	291,92	34.893,78
SOX	19,47	11,04	9,65	4,32	0,49	0,24	0,08	0,25	45,55

Adicionalmente se evaluó un escenario donde el total de la población utiliza leña seca, es decir con un 20% de contenido de humedad máximo y con un manejo correcto de los equipos, manteniendo constante la calidad de los equipos. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de la evaluación.

Tabla 63. Emisiones (ton/año) considerando uso de leña seca y buena operación de los artefactos

	Temuco	Padre Las Casas	TOTAL
MP	3.993,91	508,78	4.502,69
MP10	3.826,17	487,41	4.313,58
MP2,5	3.718,33	473,67	4.192,01
CO	27.326,96	3.379,42	30.706,39
NOX	304,40	36,05	340,45
COV	16.260,77	2.597,68	18.858,45
SOX	40,64	4,91	45,55

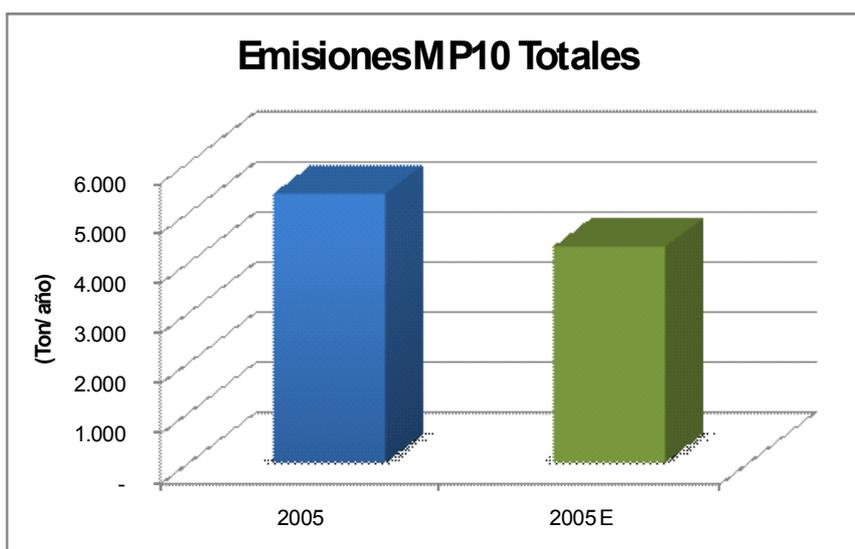


Figura 25. Emisiones estimadas escenario 2005 y emisiones 2005 evaluadas con uso de leña seca y uso correcto de los artefactos.

La figura muestra una reducción de cerca del 20% en las emisiones de MP10 como efecto de considerar uso de leña seca y una correcta operación de los artefactos.

3.3.2.10 Quemadas Agrícolas e Incendios Forestales

3.3.2.11 Antecedentes generales de metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

Las quemadas agrícolas son procesos de combustión de menor escala como quemada de rastrojos, de ramas y materiales leñosos. Durante la combustión de materia vegetal, ya sea producto de incendios forestales o quemadas, se incorporan a la atmósfera una gran cantidad de sustancias contaminantes, siendo las más importantes: monóxido de carbono, compuestos orgánicos gaseosos y material particulado, principalmente carbón no quemado. En las quemadas de desechos vegetales se emiten bajas cantidades de óxidos de nitrógeno y se generan grandes cantidades de dióxido de carbono y vapor de agua.

En inventarios anteriores de las distintas regiones del país, desarrollados por CONAMA, se han calculado emisiones utilizando una metodología (ver ecuación siguiente) que multiplica la superficie afectada o quemada (por comuna) por el factor de emisión, correspondiente al factor promedio indicado por la CARB²⁸ en sus reportes del año 1999, asociado a “grass and woodland”.

$$E = S * FE$$

Ecuación 26

Donde:

E : Emisiones anuales [ton/año].

S : Superficie en hectáreas consumidas por quemadas agrícolas.

FE : Factor de emisión del contaminante considerado.

Actualmente se han presentado actualizaciones metodológicas para estas fuentes, las cuales se presentan en el punto 3.3.6.2 *Actualización metodología de estimación de emisiones de quemadas agrícolas* y 3.3.6.3 *Actualización metodología de estimación de emisiones de incendios forestales*.

La Corporación Nacional Forestal (CONAF), es la encargada de fiscalizar, prevenir y controlar los incendios forestales y quemadas agrícolas, por lo cual lleva un registro tanto del número incendios forestales como de las quemadas agrícolas, entregando la extensión de cada siniestro en hectáreas consumidas, separadas por comuna y distinguiendo en la siguiente clasificación:

- quemadas legales
- quemadas ilegales (en caso de existir decretos de regulación)
- incendios de vegetación natural (separados en arbolado, matorral y pastizal)
- incendios de plantaciones forestales (separados en pino, eucaliptos, otras plantaciones)

El factor de emisión para quemadas legales e ilegales es el mismo, sin embargo, las emisiones

²⁸ California Air Resources Board , Source Inventory, Categories N° 751-752, Miscellaneous Emisión Sources Accidental Fires-Vegetation – Timber/Brush (751) – Grass/Woodland / Agricultural (752), año base 1999.

son presentadas de manera separada a fin de identificar sus responsabilidades. Para incendios de vegetación natural hasta la fecha en los inventarios nacionales se ha utilizado el mismo factor que para quemas agrícolas. La tabla siguiente resumen los factores utilizados para quemas agrícolas e incendios forestales.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones son los propuestos por California Air Resources board, son los siguientes:

Tabla 64. Factores de emisión de incendios forestales y quemas agrícolas utilizados en los inventarios anteriores (en la IX región y en otras regiones del país)

Contaminante	Hierba y bosques (quemadas agrícolas)	Madera y ramas (incendios forestales)
	Kg/ha	Kg/ha
CO	226,40	2790,81
NOx	----	131,13
TOG	43,71	168,12
PTS	35,87	571,61
NH ₃	1,34	2,69

Fuente: 1. California Air Resources Board 1999. 2. Radian, 1991.

3. Se asume que este factor de emisión corresponde a áreas de “Grass & Woodland,” nombre en inglés especificado en la metodología de la CARB.

Nota: Los factores originales de la CARB están expresados en lbs/acre

En la metodología presentada por la CARB descrita anteriormente, las tasas de emisión de óxidos de nitrógeno se indican despreciables.

3.3.2.12 Actualización metodología de estimación de emisiones de quemas agrícolas

La CARB presentó en junio de 2005 una actualización metodológica respecto al cálculo de emisiones asociado a quemas de residuos agrícolas, “Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology”²⁹.

Las emisiones se obtienen de la siguiente ecuación:

$$E = S * FE * FC$$

Ecuación 27

Donde:

E : Emisiones anuales [ton/año].

S : Superficie en hectáreas consumidas por quemas agrícolas.

FE : Factor de emisión del contaminante considerado [lbs/Ton]

FC : Factor de carga [ton/há]

En esta metodología se presentan factores de emisión detallados por tipos de cultivos agrícolas en distintas situaciones de actividad agrícola, como actividades asociadas a quemas de residuos y rastrojos agrícolas generados en la etapa de cosecha, actividades asociadas a podas

²⁹ <http://o3.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full17-17.pdf>

y actividades de disminución de pastizales y hierbas, y también se presentan las cargas de combustible por superficie consumida.

Para cada actividad se reportan factores de emisión en libras de contaminante por toneladas de cultivo o especie quemada. Como se observa en la siguiente tabla, los factores vienen dados por tipo de cultivo, por lo tanto, para poder aplicar esta metodología, es necesario contar con información de las hectáreas quemadas por tipo de cultivo.

Tabla 65. Factores de emisión asociados a quemas agrícolas. Extracto de Attachment B - Waste Burn Emission Factors, Sction 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology, CARB.

Code	Crop Name	EIC Description	PM10	PM25	NOX	SO2	VOC	CO	Fuel loading (Ton/acre)
Agriculture - Field Crops									
241	Alfalfa	Agriculture - Field Crop	28.50	27,2	4,5	0,6	21,7	119	0.800
247	Asparagus	Agriculture - Field Crop	40.00	39,34	4,49	0,61	66	150	1.500
242	Barley	Agriculture - Field Crop	14.30	13,8	5,1	0,1	15	183,7	1.700
243	Bean/pea	Agriculture - Field Crop	13.70	13	5,2	0,1	14,2	148	2.500
244	Corn	Agriculture - Field Crop	11.40	10,9	3,3	0,4	6,6	70,9	4.200
245	Cotton	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
609	Dried flowers	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
246	Flax	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
609	Flower straw	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
612	Nursery prunings	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
248	Oats	Agriculture - Field Crop	20.70	19,7	4,5	0,6	10,3	136	1.600
255	Other field crops	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
260	Pea vines	Agriculture - Field Crop	13.70	13	5,2	0,1	14,2	148	2.500
249	Peanuts	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
250	Rice	Agriculture - Field Crop	6.30	5,9	5,2	1,1	4,7	57,4	3.000
251	Rye	Agriculture - Field Crop	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
252	Safflower	Agriculture - Field Crop	17.70	16,9	4,5	0,6	14,8	144	1.300
Agriculture - Pruning									
101	Almond	Agriculture - Pruning	7.00	6,7	5,9	0,1	5,2	52,2	1.000
102	Apple	Agriculture - Pruning	3.90	3,7	5,2	0,1	2,3	42	2.300
103	Apricot	Agriculture - Pruning	5.90	5,6	5,2	0,1	4,6	49	1.800
104	Avocado	Agriculture - Pruning	20.60	19,4	5,2	0,1	18,5	116	1.500
720	Bamboo	Agriculture - Pruning	15.90	15,18	4,49	0,61	10,73	113,95	2.175
105	Bushberry	Agriculture - Pruning	7.80	7,3	5,2	0,1	6,3	66	1.700
106	Cherry	Agriculture - Pruning	7.90	7,4	5,2	0,1	6	44	1.000

Fuente: CARB, 2005.

Respecto a los cultivos agrícolas, si bien se conoce la superficie correspondiente a cada cultivo agrícola de la IX Región (separados en Trigo, Avena, Cebada y Maíz), esta información no se encuentra desagregada por comuna. La información manejada por CONAF a nivel de comuna se refiere al total de superficie quemada, sin detalle del tipo de cultivo quemado; por lo tanto, el cálculo de emisiones se trabajó con el supuesto de que la superficie quemada por cada tipo de cultivo es proporcional a la participación de los tipos de cultivo en los cuales se realizan quemas.

La siguiente tabla muestra la participación de la superficie cultivada para trigo, cebada y avena (cultivos principales en la región) sobre el total de superficie afectada a quemados agrícolas.

Tabla 66. Participación por tipo de cultivo

Avena	Cebada	Trigo
24,0%	5,2%	70,8%

Fuente.: Registros CONAF 2007.

Para aplicar la metodología es necesario conocer los factores de carga por hectárea, que en caso de las quemados autorizadas se componen de los rastrojos resultantes de la cosecha de los cultivos. Estos son principalmente avena, cebada, trigo y maíz. Solo los primeros tres cultivos generan material que posteriormente es quemado, los residuos de la cosecha de maíz son utilizados por los agricultores, según información entregada por CONAF.

Los factores de carga promedio según información de volumen de rastrojos por hectárea y tipo de cultivo son de 5 (Ton/ha) para cebada; de 2,7 (Ton/ha) para cultivos de avena, debido a que el 50% de este material no es quemado, sino que es ocupado para forraje de animal; y de 6 (Ton/ha) para cultivos de trigo.

3.3.2.12.1 Niveles de actividad

La tabla siguiente muestra la superficie afectada por quemados agrícolas autorizadas por comuna.

Tabla 67. Hectáreas consumidas por quemados agrícolas, escenario 2005.

Comuna	Superficie quemada (ha)			
	Total	Avena	Cebada	Trigo
P. LAS CASAS	1155	277	60	817
TEMUCO	2180	523	113	1543

Fuente: Temporada año 2005, registros CONAF 2006.

Las quemados agrícolas autorizadas se concentran en el periodo Marzo-Abril. La siguiente figura muestra el promedio de quemados agrícolas informadas por CONAF en el periodo 2000-2005.

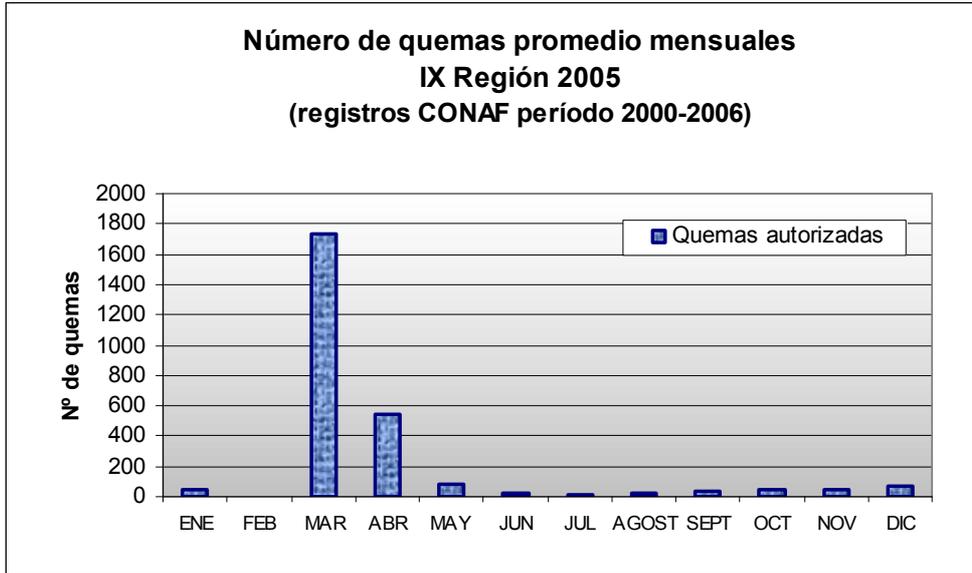


Figura 26. Número de quemas promedio mensuales IX Región
Fuente: Elaboración propia

3.3.2.12.2 Cálculo de emisiones

La siguiente tabla resume los cálculos de emisiones correspondientes al escenario 2005 utilizando la metodología descrita. Se entrega el cálculo de emisiones por tipo de cultivo y luego la tabla resumen con el total de emisiones asociadas a la quema agrícola (suma de emisiones de trigo, cebada y avena).

Tabla 68. Emisiones de quema de desechos de trigo, (ton/año), 2005.

COMUNA	Trigo					
	PM10	PM2,5	NOx	SO2	VOC	CO
P. LAS CASAS	22,6	21,5	2,8	1,9	16,2	263,1
TEMUCO	42,6	40,6	5,2	3,6	30,5	496,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Emisiones de quema de desechos de avena, (ton/año), 2005.

COMUNA	Avena					
	PM10	PM2,5	NOx	SO2	VOC	CO
P. LAS CASAS	7,0	6,6	1,5	0,2	3,5	45,7
TEMUCO	13,1	12,5	2,9	0,4	6,5	86,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Emisiones de quema de desechos de cebada (ton/año), 2005.

COMUNA	Cebada					
	PM10	PM2,5	NOx	SO2	VOC	CO
P. LAS CASAS	1,8	1,8	0,6	0,0	1,9	23,4
TEMUCO	3,4	3,3	1,2	0,0	3,6	44,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Emisiones de quema agrícola total, (ton/año), 2005.

COMUNA	TOTAL					
	PM10	PM2,5	NOx	SO2	VOC	CO
P. LAS CASAS	31,33	29,87	4,93	2,13	21,54	332,09
TEMUCO	59,14	56,38	9,30	4,02	40,66	626,89
TOTAL	90,47	86,25	14,23	6,15	62,21	958,99

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.13 Actualización metodología de estimación de emisiones de incendios forestales

Los incendios forestales son procesos de combustión incontrolados, de gran tamaño que consumen vegetación de variadas especies y tamaños en un área geográfica.

CARB presentó una actualización metodológica para calcular este tipo de emisiones. La documentación se presenta en la "Section 9.3, Wildfires, Revised Methodology October 2004"³⁰, y la metodología se resume a continuación.

³⁰ <http://arbis.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full9-3.pdf>

Para realizar la estimación se requiere de información sobre el tipo de material que se quema y la superficie afectada, además de los factores de emisión para cada tipo de material.

Las emisiones se obtienen de la siguiente ecuación:

$$E = S * FE * FC \qquad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

E : Emisiones anuales [ton/año].

S : Superficie en hectáreas consumidas por incendios forestales.

FE : Factor de emisión del contaminante considerado [lbs/Ton] (ver **Tabla 72** y **Tabla 74**)

FC : Factor de carga [ton/há] (ver **Tabla 73**, y **Tabla 79** a **Tabla 82**)

Los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones dependen del diámetro del tronco de los árboles de las plantaciones, lo que tiene directa relación con la edad de la plantación. La siguiente tabla detalla los factores de emisión para cada edad de plantación y condición de humedad. El cálculo de emisiones reportado en el presente informe, considera aquellos factores de emisión indicados dentro del tipo de humedad “moderada” (*mod* en la tabla).

Para distribuir la edad de las plantaciones se consideró una muestra de plantaciones quemadas, distribuida por edad y comuna, y se distribuyó la superficie quemada con estas proporciones a fin de utilizar la metodología de estimación de emisiones.

Tabla 72. Factores de emisión en lbs/ton por tipo de vegetación quemada y humedad.

	PM10			PM2,5			CO			CH4		
	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry
Litter, wood 0-1 in	9,3	9,3	9,3	7,9	7,9	7,9	52,4	52,4	52,4	2,1	2,1	21,0
Wood 1-3 in	14,0	14,0	14,0	11,9	11,9	11,9	111,4	111,4	111,4	4,5	4,5	4,5
Wood 3+ in	26,6	21,6	19,1	22,5	18,3	16,2	268,9	205,8	174,4	10,8	8,2	7,0
Herb, shrub, regen	25,1	25,1	25,1	21,3	21,3	21,3	249,2	249,2	249,2	10,0	10,0	10,0
Duff	28,2	30,4	30,4	23,9	25,8	25,8	288,6	316,1	316,1	11,5	12,6	12,6
Canopy fuels	25,1	25,1	25,1	21,3	21,3	21,3	249,2	249,2	249,2	10,0	10,0	10,0
	TNMHC			NH3			NOx			SO2		
	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry	Wet	Mod	Dry
Litter, wood 0-1 in	3,7	3,7	3,7	0,5	0,5	0,5	8,2	8,2	8,2	2,5	2,5	2,5
Wood 1-3 in	7,8	7,8	7,8	1,1	1,1	1,1	8,0	8,0	8,0	2,5	2,5	2,5
Wood 3+ in	18,8	14,4	12,2	2,7	2,1	1,7	7,3	7,6	7,7	2,2	2,3	2,4
Herb, shrub, regen	17,4	17,4	17,4	2,5	2,5	2,5	7,4	7,4	7,4	2,3	2,3	2,3
Duff	20,2	22,1	22,1	2,9	3,2	3,2	7,2	7,1	7,1	2,2	2,2	2,2
Canopy fuels	17,4	17,4	17,4	2,5	2,5	2,5	7,4	7,4	7,4	2,3	2,3	2,3

Fuente. CARB, “Section 9.3, Wildfires, Revised Methodology October 2004

Respecto a la asignación de factores de emisión por tipo de vegetación y sus características, se tienen las siguientes consideraciones:

Para las plantaciones cuya edad esté entre 0 y 10 años, se consideraron los factores de emisión correspondientes al promedio del rango 0-1 in y 1-3 in. Para los rangos 11 a 17 años y 18 años

y más se consideró los factores de emisión correspondientes al rango 3 y más in. Respecto a la categoría bosque nativo, se consideraron los factores de emisión correspondientes al rango 3 y más in.

Respecto al matorral, se le asignaron los factores de emisión definidos por la categoría “herb, shrub and regen”.

En la siguiente tabla se muestran los valores de carga de combustible considerados para el cálculo de emisiones según tipo de materia seca de vegetación (para arbustos y pastizal).

Tabla 73. Factores de carga por tipo de materia seca) de vegetación y desechos forestales

Especie	Factor de carga (Ton/ha)
Arbustos	15
Pastizal	4

Fuente: CONAMA Araucanía, 2007.

Respecto a los factores de emisión seleccionados para representar las tasas de emisión de pastizales, estos fueron tomados del estudio presentado por la CARB en la “Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology”³¹.

Tabla 74. Factores de emisión asociados a pastizales (lb/ton)

	PM10	PM2,5	CO	NOx	SO2
Pastizal	15,90	15,18	113,95	4,49	0,61

Fuente.: CARB en la “Section 7.17 Agricultural Burning and Other Burning Methodology”

Factores de carga para plantaciones forestales y bosque nativo

La biomasa presente en las plantaciones forestales se compone de:

- Biomasa arbórea aérea
- Biomasa raíces
- Sotobosque: vegetación formada por matas y arbustos que crecen bajo los árboles del bosque.
- Hojarasca
- Necromasa

Por lo tanto, para calcular el factor de carga de plantaciones forestales se consideró cada una de las componentes antes mencionadas y se les asignó un factor de emisión según sus características. En la siguiente tabla se pueden observar los FE (CARB) asignados.

³¹ <http://o3.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full7-17.pdf>

Tabla 75. Tipo de materia y factor de emisión asignado.

Tipo de materia	FE asignado
Biomasa arbórea aérea	(Wood 0 - 3 in) o (Wood 3+ in)
Biomasa raíces	Litter, wood 0-3 in
Sotobosque	Herb, shrub, regen
Hojarasca	Duff
Necromasa	Wood 3+ in

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes tablas muestran los factores de carga según especie para distintos predios considerados en el estudio “Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono”³².

Tabla 76. Biomasa en plantaciones de Pino Radiata (ton/ha).

Edad	Predio	GA m2/ha	BASR	BR	HOJ	SOT	NEC	TOTAL
2	Los Pinos	0,67	6,69	1,7	8,26	14,71	22,89	54,24
3	Los Pinos	2,5	3,83	0,97	10,56	3,26	4,68	23,31
3	Mardoñal	3,88	13,35	3,4	3,11	0,35	24,01	44,21
5	Los Pinos	6,82	4,93	1,25	9,93	11,85	50,99	78,95
7	Los Pinos	13,57	40,72	10,36	13,61	11,17	1,79	77,65
7	Mardoñal	9,98	30,69	7,8	0,56	0,7	15,61	55,36
8	Los Pinos	14,47	35,14	8,94				
12	Mardoñal	15,29	67,85	17,25	1,06	3,03	8,56	97,75
15	Mardoñal	38,01	208,42	53	2,37	5,48	6,59	275,86
16	Los Pinos	22,56	115,13	29,28	8,12	14,74	12,64	179,9
18	Los Pinos	30,33	164,23	41,76	5,55	9,81	4,13	225,48
19	Mardoñal	35,43	203,08	51,64	0,47	3,97	2,12	261,29
23	Los Pinos	32,27	197,95	50,34	8,34	22,21	13,26	292,1
23	Mardoñal	36,75	221,92	56,44	1,07	3,56	4,18	287,17

Fuente:” Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono”, Universidad Austral de Chile,2002

Tabla 77. Biomasa en plantaciones de Eucaliptus (ton/ha).

Edad	Predio	GA m2/ha	BASR	BR	HOJ	SOT	NEC	TOTAL
2	Chaihuin	3,25	33,34	7,2	0,87	1,99	25,77	69,16
3	Chaihuin	9,64	49,79	10,75	2,79	6,26	27,03	96,62
6	La Promesa	13,34	57,07	12,32	11,78	16	25,66	122,84
7	Chaihuin	20,62	97,93	21,14	9,95	9,77	39,08	177,86
7	La Promesa	18,05	76,11	16,43	12,91	13,68	17,41	136,54
8	Chaihuin	14,35	62,07	13,4	7,14	6,74	37,91	127,26
8	La Promesa	19,72	87,41	18,87	9,75	2,95	24,24	143,22
9	Chaihuin	30,54	144,97	31,3	8,46	7,78	48,65	241,16
11	Chaihuin	29,42	144,63	31,22	15,65	16,71	2,48	210,68
11	La Promesa	15,7	71,93	15,53	4,88	5,82	44,92	143,07

Fuente:” Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono”, Universidad Austral de Chile,2002

³² Estudio: Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono, Universidad Austral De Chile 2002.

Tabla 78. Biomasa en Bosque Nativo (ton/ha).

Tipo Bosque	N/ha	GA m ² /ha	BASR	BR	SOT	HOJ	NEC	BTCR
NATIVO								
SV andes								
Boquial	1703	103,93	856,75	245,8	4,74	16,89	153,87	1278,06
Putraique	1052	104,74	921,07	264,25	24,6	18,23	76,92	1305,08
San Juan	670	145,69	1207,59	346,46	3,36	17	45,44	1619,85
SV costa								
Buenaventura	2562	61,16	340,73	97,75	1,62	12,63	25,57	478,30
Chaihuín	4240	72,64	396,83	113,85	3,01	35,4	102,92	652,00
Llancacura	2281	106,92	704,84	202,22	7,98	19,57	136,7	1071,31
RORACO								
Jauja con manejo	1532	41,75	269,65	77,36	12,76	24,58	37,33	421,68
Jauja sin manejo	2106	70,66	460,6	132,15	6,86	26,86	52,53	678,99

Fuente: "Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono", Universidad Austral de Chile, 2002

Se utilizó un promedio de los factores de carga reportados en el estudio, los cuales se pueden observar en las siguientes tablas para cada componente de la biomasa de plantaciones forestales.

Tabla 79. Factores de carga considerados (ton/ha) en plantaciones de *Pinus radiata*

Edad Plantación	BASR	BR	HOJ	SOT	NEC
0 A 10	19,34	4,92	6,58	6,01	17,14
11 A 17	130,47	33,18	3,85	7,75	9,26
>=18	207,65	52,81	3,29	9,91	6,52

Fuente: Elaboración propia a partir del uso del "Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono", Universidad Austral de Chile, 2002

Tabla 80. Factores de carga considerados (ton/ha) en plantaciones de *Eucalyptus globulus*

Edad Plantación	BASR	BR	HOJ	SOT	NEC
0 A 10	76,09	16,43	7,96	8,15	30,72
11 A 17	108,28	23,38	10,27	11,27	23,70
>=18	108,28	23,38	10,27	11,27	23,70

Fuente: Elaboración propia a partir del uso del "Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono", Universidad Austral de Chile, 2002

Para el bosque nativo se consideró el promedio de la biomasa correspondiente a bosques de la Cordillera de la Costa.

Tabla 81. Factores de carga considerados (ton/ha) en *Bosque nativo* – SV Costa

Tipo Bosque	Biomasa ton/ha					
	BASR	BR	SOT	HOJ	NEC	BTCR
SV costa	480,80	137,94	4,20	22,53	88,40	733,87

Fuente: Elaboración propia a partir del uso del "Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono", Universidad Austral de Chile, 2002

Para la categoría “otras plantaciones” se utilizó la biomasa promedio de las plantaciones *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*, debido a que no se especifica el tipo de cultivo y la superficie total afectada por incendios en el área de estudio es muy baja. Además, se consideró que la biomasa de raíces no es consumida por el fuego y que el 50% de la masa del árbol es consumida en un incendio.

Tabla 82. Factores de carga considerados (ton/ha) para Otras Plantaciones

Edad Plantación	BASR	BR	HOJ	SOT	NEC
0 A 10	23,86	10,67	7,27	7,08	23,93
11 A 17	59,69	28,28	7,06	9,51	16,48
>=18	78,98	38,09	6,78	10,59	15,11

Fuente: Elaboración propia a partir del uso del “Inventario de Biomasa y Contabilidad de Carbono”, Universidad Austral de Chile, 2002.

3.3.2.13.1 Niveles de actividad

La tabla siguiente muestra la superficie afectada por incendios de vegetación natural e incendios de plantaciones forestales desagregadas por comuna, información entregada por CONAF, en donde se definen a los pastizales, matorrales y bosque nativo como vegetación natural, y pinos y eucaliptus como plantaciones forestales.

Tabla 83. Hectáreas consumidas por incendios forestales, escenario 2005.

COMUNAS	PINO	EUCALIPTUS	OTRAS PLANTACIONES	BOSQUE NATIVO	MATORRAL	PASTIZAL
P. LAS CASAS	0,95	0,87	0,00	0,00	14,24	5,64
TEMUCO	4,61	9,20	0,20	0,11	68,23	20,26

Fuente: CONAF, 2006.

Los incendios forestales se concentran en el período Diciembre-Marzo, disminuyendo casi a cero entre los meses de Mayo a Septiembre. La siguiente figura muestra la distribución mensual promedio, obtenida de la información de incendios forestales reportados por CONAF entre los años 2000 y 2006.

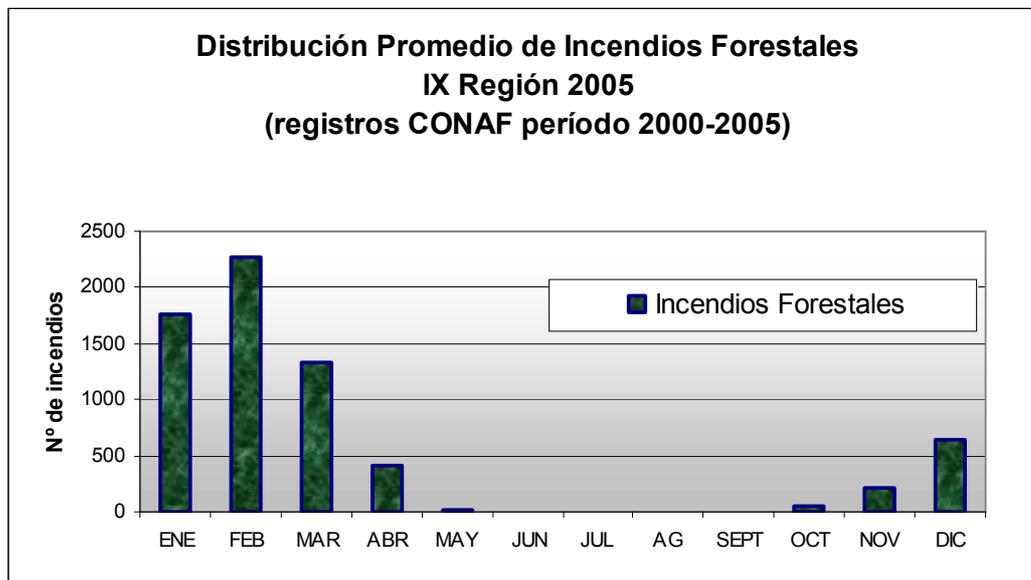


Figura 27. Distribución promedio de incendios forestales IX Región, año 2000-2006
Fuente: Elaboración propia

3.3.2.13.2 Cálculo de emisiones

Las siguientes tablas resumen los cálculos de emisiones correspondientes al escenario 2005 asociados a plantaciones forestales y vegetación natural.

Tabla 84. Emisiones PADRE LAS CASAS (ton/año), 2005

Especie	Emisiones PADRE LAS CASAS (ton/año)							
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2
Pino	0,36	0,30	3,40	0,14	0,24	0,03	0,13	0,04
Eucaliptus	0,61	0,52	5,51	0,22	0,39	0,06	0,26	0,08
Otras plantaciones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bosque nativo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Matorral	2,43	2,06	24,11	0,97	1,68	0,24	0,72	0,22
Pastizal	0,16	0,16	1,16	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
Total	3,56	3,04	34,19	1,32	2,31	0,33	1,15	0,35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85. Emisiones TEMUCO (ton/año), 2005

Especie	Emisiones TEMUCO (ton/año)							
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2
Pino	5,21	4,42	50,00	1,99	3,50	0,51	1,78	0,54
Eucaliptus	9,32	7,90	90,14	3,60	6,30	0,92	3,10	0,94
Otras plantaciones	0,21	0,18	2,06	0,08	0,14	0,02	0,07	0,02
Bosque nativo	0,39	0,33	3,72	0,15	0,26	0,04	0,13	0,04
Matorral	11,64	9,88	115,53	4,64	8,07	1,16	3,43	1,07
Pastizal	0,58	0,56	4,18	0,00	0,00	0,00	0,16	0,02
Total	27,35	23,26	265,64	10,46	18,27	2,64	8,68	2,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86. Emisiones incendios forestales, Temuco y Padre Las Casas, todas las especies, 2005.

Emisiones Temuco y Padre Las Casas (ton/año)							
PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2
30,92	26,30	299,83	11,78	20,58	2,98	9,83	2,98

Fuente: Elaboración propia

A continuación se entregan las emisiones calculadas por tipo de especie, edad cuando corresponda, y comuna:

Tabla 87. Emisiones por tipo de especie, edad, y comuna, 2005.

COMUNA	PINO 0 A 10 AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,36	0,30	3,40	0,14	0,24	0,03	0,13	0,04	
TEMUCO	0,10	0,08	0,90	0,04	0,06	0,01	0,03	0,01	
COMUNA	PINO 11 A 17 AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	0,66	0,56	6,34	0,25	0,44	0,06	0,22	0,07	
COMUNA	PINO 18 O MAS AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	4,46	3,78	42,76	1,70	2,99	0,44	1,53	0,46	
COMUNA	EUCALIPTUS 0 A 10 AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,61	0,52	5,51	0,22	0,39	0,06	0,26	0,08	
TEMUCO	0,35	0,30	3,19	0,13	0,22	0,03	0,15	0,05	
COMUNA	EUCALIPTUS 11 A 17 AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	1,56	1,32	15,12	0,60	1,06	0,15	0,51	0,16	
COMUNA	EUCALIPTUS 18 O MAS AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	7,41	6,28	71,82	2,86	5,02	0,73	2,43	0,74	
COMUNA	OTRAS PLANTACIONES 0 A 10 AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
COMUNA	OTRAS PLANTACIONES 11 A 17 AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	0,03	0,03	0,30	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	
COMUNA	OTRAS PLANTACIONES 18 O MAS AÑOS								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMUCO	0,18	0,15	1,71	0,07	0,12	0,02	0,06	0,02	
COMUNA	BOSQUE NATIVO								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,39	0,33	3,72	0,15	0,26	0,04	0,13	0,04	
TEMUCO									
COMUNA	BOSQUE NATIVO								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,39	0,33	3,72	0,15	0,26	0,04	0,13	0,04	
TEMUCO									
COMUNA	MATORRAL								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	11,64	9,88	115,53	4,64	8,07	1,16	3,43	1,07	
TEMUCO	2,43	2,06	24,11	0,97	1,68	0,24	0,72	0,22	
COMUNA	PASTIZAL								
	PM10	PM25	CO	CH4	TNMHC	NH3	NOX	SO2	
P. LAS CASAS	0,16	0,16	1,16	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	
TEMUCO	0,58	0,56	4,18	0,00	0,00	0,00	0,16	0,02	

3.3.3 Cigarrillos

3.3.3.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

Las emisiones provenientes de este tipo de fuente se obtienen al multiplicar un factor de emisión por el nivel de consumo en la población. El nivel de consumo se obtiene de la sumatoria entre las cantidades producidas a nivel nacional y las importaciones para luego restar las exportaciones efectuadas en el país, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$C = PN + I - E \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

C : consumo neto [cigarrillos/año]
PN : producción nacional [cigarrillos/año]
I : importaciones [cigarrillos/año]
E : exportaciones [cigarrillos/año]

La información de producción nacional se obtiene a través de INE, mientras que las cantidades importadas y exportadas a través de los servicios de Aduana.

La información disponible permite obtener solamente el consumo nacional. Para obtener el consumo en la IX Región se debe entonces obtener el consumo per cápita a nivel nacional dividiendo el consumo nacional por el número de habitantes mayores de 15 años del país (se realiza el supuesto que la población fumadora supera esa edad), tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C_P = \frac{C_N}{P_N} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

C_P: consumo per cápita nacional [ton/año-habitante]
C_N: consumo neto nacional [ton/año]
P_N: población nacional mayor a 15 años [habitantes]

Luego, se debe multiplicar la cantidad de habitantes mayor a 15 años de la IX Región por el consumo percápita calculado en el paso previo:

$$C_{IV} = C_P * P_{VI} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde

C_{VI}: consumo en la IX Región [ton/año]
P_{VI}: población de la IX Región mayor a 15 años [habitantes]

Finalmente, el consumo de cigarrillos per cápita obtenido para la región se multiplica por el factor de emisión respectivo obteniendo de esta manera las emisiones para el contaminante en cuestión.

El consumo de cigarrillos genera emisiones de material particulado muy fino el que está constituido por al menos 150 sustancias tóxicas, entre las que se encuentran el ácido arsenioso, quinoleína, acroleína, aldehídos, fenoles, bensoalfapirenos, metales pesados como plomo, cobre y estaño. Esto constituye una fuente considerable de emisión en lugares cerrados y mal ventilados, siendo parte importante de la contaminación intradomiciliaria.

La siguiente Tabla indica los factores de emisión utilizados en el cálculo de emisiones, los cuales provienen del estudio “Toxic Volatile Organic Compounds in Environmental Tobacco Smoke: Emission Factor for Modeling Exposures of California Populations”, desarrollado por California Air Resources Board, para PM10, y de la Compañía Chile Tabacos para amoníaco.

Tabla 88. Factores de emisión consumo de cigarrillos

Contaminante	FE [mg/cig]
Amoníaco	5,2
Material particulado	8,0

Fuente: CARB

3.3.3.2 Cálculo de emisiones

Los niveles de actividad están dados por el consumo de cigarrillos que existe en la IX Región, valores estimados mediante la metodología descrita anteriormente. Las emisiones obtenidas fueron las siguientes:

Tabla 89. Emisiones provenientes del consumo de cigarrillos, 2005, Temuco y PLC.

Año	Consumo IX Región (cig/año)	Emisión MP10 [ton/año]	Emisión NH ₃ [ton/año]
Padre Las Casas	4.925.312	0,04	0,03
Temuco	7.853.715	0,06	0,04
Total	12.779.027	0,10	0,07

Fuente: Elaboración propia

3.4 Fuentes de Polvo Fugitivo

3.4.1 Construcción y Demolición

3.4.1.1 Construcción de edificios

3.4.1.1.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La metodología para la estimación de emisiones se basa en un factor de emisión, en el tiempo en que demora la realización de la obra y en la superficie de terreno intervenida, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E = A * T * FE$$

Ecuación 32

Donde:

E : emisiones de material particulado [kg/año]

A : área intervenida en la construcción [m²]

T : tiempo de duración de la obra [mes]

FE : factor de emisión de material particulado [kg/m²-mes]

El factor de emisión que se presentan es el determinado por la CARB Section: 7.7 Building Construction Dust” (Revised September 2002) utilizado en el Inventario anterior del DICTUC:

Tabla 90. Factores de emisión para construcción de edificios

PM ₁₀ [kg/m ² -mes].	PTS [kg/m ² -mes].
0,0247	0,0504

Fuente: CARB Section: 7.7 Building Construction Dust”
(Revised September 2002)

Los factores de emisión presentados consideran efectos aplicando medidas de control, específicamente lo referente al riego de la tierra que está siendo removida. Se asume un 50% de eficiencia al aplicar esta medida, por lo tanto si los factores de emisión son utilizados para actividades de construcción donde no se utiliza el riego, el valor del factor debería ser el doble para reflejar la emisión real de polvo del proceso de construcción.

3.4.1.1.2 Niveles de Actividad.

Los m² de superficie construida para el año 2005, fueron obtenidos a través de las estadísticas de edificación reportada por el INE, con detalle comunal.

La siguiente Tabla, muestra los valores considerados:

Tabla 91. Metros cuadrados construidos para el año 2005

Comuna	m ² construidos
Temuco	282.757
Padre las Casas	18.537
Total	301.294

Fuente: Anuario de Edificación 2005, INE

3.4.1.1.3 Cálculo de emisiones

Aplicando la metodología y supuestos se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 92. Emisiones de MP10 y PTS, provenientes del polvo fugitivo por actividades de construcción de edificaciones, 2005.

Comunas	Emisiones (Ton/año)	
	MP ₁₀	PTS
Temuco	41,9	85,50
Padre Las Casas	2,74	5,60
Total	44,65	91,11

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2 **Construcción de caminos**

3.4.1.2.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

El área que es afectada por la construcción de caminos se estima a partir de los kilómetros de caminos construidos y de la superficie intervenida por kilómetro dependiendo del tipo de vía autopista, carretera, calle en ciudad³³.

Los kilómetros de caminos construidos en un año se estiman a partir de la diferencia en los kilómetros de caminos reportados en el año en que se realiza el inventario con respecto al año anterior. Este valor es dividido en los tres tipos de caminos mencionados en el párrafo anterior y el valor de superficie por kilómetro construido se obtiene a partir del número de pistas, ancho de las pistas y el ancho de la berma para cada tipo de camino. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

³³ Los tipos de caminos señalados en la literatura corresponden a freeway, highway y city&county. El tipo freeway corresponde a carreteras donde no se paga peaje.

Tabla 93. Superficie por kilómetro de camino construido.

Parámetros	Tipo de camino		
	Autopista	Carretera	Calle en ciudad
Número de pistas	5	3	2
Ancho por pista [m]	4	4	4
Ancho de la berma [m]	3(m)*4=12	6(m)*2=12	6(m)*2=12
Ancho del camino [m]*	32	24	20
Área por kilómetro [m ²]**	32000	24000	20000

*Ancho del camino [m] = pistas x ancho de pista + ancho de berma.

** Área por kilómetro [m²] = 1 kilómetro x Ancho x (1000 m/1 km)

Fuente: CARB, California.

Los valores mostrados en la tabla anterior, son conservadores debido a que no consideran los posibles movimientos de tierra que se realizan en las inmediaciones del camino. Se estima que la duración de las obras es de aproximadamente 6 meses.

El factor de emisión utilizado para la evaluación de las emisiones asociadas a la construcción de caminos, fue tomado de “Section 7.8 Road Construction Dus, CARB” revisión agosto 1997, y está basado en el Midwest Research Institute de California, año 1996.

Tabla 94. Factores de emisión para construcción de caminos

Factores de emisión	MP10 (kg/m ² -mes)	PTS (kg/m ² -mes)
Construcción de caminos	0,0247	0,042

Fuente: CARB, California, 1997

3.4.1.2.2 Cálculo de emisiones

La red vial del país está bajo la gestión de dos instituciones públicas: el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU).

- El MOP está a cargo de las concesiones y de la red interurbana, la cual se divide en Red Básica y Red comunal. Los caminos que conforman estas redes se dividen en 5 clases:

Clase A: red de caminos nacionales que forma parte de la Red Básica.

Clase B: red de caminos principales que forma parte de la Red Básica.

Clase C: red regional secundaria que forma parte de la Red Básica.

Clase D: red de caminos comunales primarios que forma parte de la Red Comunal

Clase E: red de caminos comunales secundarios que forma parte de la Red Comunal

- El MINVU está a cargo de la red vial urbana, a excepción de los caminos públicos administrados por el MOP. Por su parte el MINVU clasifica a la red vial en:

Calles: corresponden a las vías de circulación vehicular que a su vez se divide en expresa, troncal, colectora, de servicio y local.

Pasajes: corresponde a las vías de circulación peatonal que se divide en pasajes y pasajes en pendiente.

Se solicitó información a ambas instituciones, respecto a la superficie de caminos o calles en las cuales se realizaron obras de pavimentación y conservación durante el año 2005. En las tablas siguientes se presenta un resumen la superficie total construida correspondiente a obras de caminos y sus respectivas emisiones.

Tabla 95. Construcción de caminos MINVU y emisiones de MP₁₀ y PTS. Año 2005

Comunas	Superficie (m ²)	Emisiones* (Ton/año)	
		PM ₁₀	PTS
Padre Las Casas	9.300	3,04	4,69
Temuco	71.120	23,21	35,84
Total	80.420	26,25	40,53

Fuente: Información base Minvu. Emisiones por elaboración propia.

* Se asume que la duración de las obras corresponde a 12 meses.

Tabla 96. Construcción de caminos MOP y emisiones de MP₁₀ y PTS. Año 2005.

Comunas	Superficie (m ²)	Emisiones* (Ton/año)	
		PM ₁₀	PTS
Padre Las Casas	--	--	--
Temuco	48.000	15,67	24,19
Total	48.000	15,67	24,19

Fuente: MOP, Departamento de Conservación. Emisiones por elaboración propia.

Nota: No se registran datos para Padre las Casas.

*Se asume que la duración de las obras corresponde a 12 meses.

En la siguiente tabla se muestra lo valores para MINVU y MOP de manera agregada.

Tabla 97. Construcción de caminos y emisiones MINVU y MOP de MP₁₀ y PTS. Año 2005

Comunas	Superficie (m ²)	Emisiones* (Ton/año)	
		PM ₁₀	PTS
Padre Las Casas	9.300	3,04	4,69
Temuco	119.120	38,88	60,03
Total	128.420	41,92	64,72

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Polvo Resuspendido

3.4.2.1 Calles pavimentadas

3.4.2.1.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

A continuación se describe la metodología de estimación de emisiones proveniente de la resuspensión de material particulado sobre calles pavimentadas, metodología presentada en la última edición del AP-42, correspondiente a diciembre de 2003³⁴.

$$E_{pa} = E_d(1 - P/4N) \quad \text{Ecuación 33}$$

$$\text{Con, } E_d = e * F * L \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde,

E_{pa} : tasa de emisión anual (o del período bajo estudio) de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/año].

E_d : tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle pavimentada [g/día].

p : días con precipitaciones mayores de 0.254 mm. durante el periodo considerado.

N : número de días del periodo de estudio (365 en el caso anual)

E_d : tasa de emisión diaria por tramo [g/día].

e : factor de emisión de partículas por calles [g/vehículo-km].

F : flujo vehicular diario [vehículos/día].

L : longitud del tramo [km].

Los factores de emisión de polvo desde calles pavimentadas, ecuación de cálculo de emisiones incorporadas a MODEM II, corresponden a las versiones de diciembre del año 2003 del AP-42 de la EPA relativo a fuentes misceláneas de emisiones de polvo fugitivo desde calles pavimentadas³⁵. El factor de emisión se puede obtener de la siguiente forma:

$$e = k \left(\frac{Sp}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{W}{3} \right)^{1.5} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde,

Sp : contenido de material fino, fracción de polvo de diámetro ≤ 75 micrones [g/m²].

k : constante, depende del tamaño de partícula a considerar [gr/VKT].

³⁴ <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

³⁵ <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>

W : peso promedio de la categoría de vehículo en movimiento [ton].

C : factor de emisión de ajuste, asociado a emisiones de escape y desgaste de frenos y neumáticos.

El valor de la constante k varía según el tamaño de partícula como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 98. Valores de k , según tamaño de partícula

Tamaño de partícula	Valores de k en [gr/VKT].
PM 2.5	0.66
PM 10	4.6
PM 15	5.5
PM 30*	24

Fuente: AP42

* Se asocia a PTS.

Respecto a la carga de sedimentos de material fino de la superficie del camino, debido a la carencia de estudios sobre el tema en la mayoría de las ciudades de Chile, se evaluará considerar los valores por defecto del AP-42 Capítulo 13, Cuadro 13.2.1-3, valores que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 99. Carga de finos

Flujo vehicular (v/día)	≤ 500	$> 500 \leq 10.000$	> 10.000
Carga de finos (g/m^2)	0,6	0,11*	0,03

Fuente: AP42

* En AP-42 se encuentra separado en flujos entre 500-5000 y 5000-10000, con valores de 0,2 y 0,06 respectivamente.

3.4.2.1.2 Cálculo de emisiones

En la siguiente tabla se presentan las emisiones de polvo resuspendido proveniente de calles pavimentadas, estimadas mediante el modelo de emisiones vehiculares MODEM. Las emisiones dentro de este sistema fueron calculadas por agrupación de sectores estratégicos, por lo tanto, las emisiones son reportadas para los tres sectores en los cuales se efectuó dicha agrupación.

Tabla 100. Emisiones de PTS, MP10 y MP2.5 desde calles pavimentadas, Temuco y Padre Las Casas, año 2005.

Comuna	PTS	MP10	MP2.5
SECTOR TEMUCO CENTRO, PONIENTE Y NORPONIENTE	737,71	141,39	33,81
SECTOR TEMUCO NORORIENTE	324,36	62,17	14,87
SECTOR TEMUCO SURPONIENTE Y PADRE LAS CASAS	727,27	139,39	33,33
TOTAL	1.789,34	342,95	82,01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101. Emisiones de PTS, MP10 y MP2.5 desde calles pavimentadas, Temuco y Padre Las Casas, año 2010

Comuna	PTS	MP10	MP2.5
SECTOR TEMUCO CENTRO, PONIENTE Y NORPONIENTE	820,57	157,27	37,61
SECTOR TEMUCO NORORIENTE	352,30	67,52	16,15
SECTOR TEMUCO SURPONIENTE Y PADRE LAS CASAS	794,26	152,23	36,40
TOTAL	1.967,13	377,02	90,15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 102. Emisiones de PTS, MP10 y MP2.5 desde calles pavimentadas, Temuco y Padre Las Casas, año 2015.

Comuna	PTS	MP10	MP2.5
SECTOR TEMUCO CENTRO, PONIENTE Y NORPONIENTE	830,29	159,13	38,05
SECTOR TEMUCO NORORIENTE	376,43	72,15	17,25
SECTOR TEMUCO SURPONIENTE Y PADRE LAS CASAS	785,24	150,50	35,99
TOTAL	1.991,96	381,78	91,29

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.2 Calles no pavimentadas

3.4.2.2.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

La tasa anual de emisiones para tramos de calle sin pavimentar, se estima como el producto entre la tasa de emisión diaria y el número de días con precipitaciones menores de 0.25 mm, es decir:

$$E_{pa} = E_d (365 - (n/24 + 1)p) \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde :

- E_{pa} : Tasa de emisión anual de partículas para el tramo de calle sin pavimentar [g/año].
- E_d : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle sin pavimentar [g/día].
- p : días al año con precipitaciones mayores de 0.25 mm.
- n : número de horas que demora en secar la calle, después de la última lluvia.

Para el cálculo de la emisión específico se utiliza la siguiente expresión:

$$E_d = E_f * F * L \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde :

- E_d : Tasa de emisión diaria de partículas para el tramo de calle sin pavimentar [g/día].
- E_f : Factor de emisión de partículas por calle (gr/vehículo-km)
- F : Flujo vehículo diario (vehículo/día)
- L : Longitud del tramo (km)

La última versión del AP-42 de la EPA, correspondiente al año 2003, señala la siguiente expresión para determinar el factor de emisión a evaluar:

$$e = \frac{k \left[\frac{s}{12} \right]^a \left[\frac{w}{3} \right]^b}{\left[\frac{m}{0.2} \right]^c} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

- e: factor de emisión [kg/km-vehículo recorrido].
- k: factor de corrección por tamaño de partículas [adimensional].
- s: contenido de partículas finas en la superficie de la calle [%].
- w: peso promedio de los vehículos [Toneladas].
- m : contenido de humedad de la superficie [%]
- a; b; c : constantes

3.4.2.2.2 Cálculo de emisiones

Como se mencionó en secciones anteriores, la red vial del país está bajo la gestión de dos instituciones públicas: el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU).

La información del MINVU respecto a kilómetros de calles sin pavimentar se obtienen de los registros del 15° llamado a concurso del Programa de Pavimentos Participativos, donde se indica el déficit al año 2005 y un listado de los proyectos en lista de espera por comuna.

La tabla a continuación resume las emisiones obtenidas para las comunas bajo estudio:

Tabla 103. Emisiones de PM₁₀ de vías urbanas sin pavimentar asociadas a MINVU. Año 2005

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre las Casas	187,4	1289,91
Temuco	24,6	169,40
Total	212,0	1459,31

Fuente: SEREMI MINVU IX REGION / Estimación DICTUC.

La información de la red MOP de caminos sin pavimentar, fue facilitada por el Departamento de Gestión Vial del MOP, en donde se indica la longitud y ubicación de la red vial sin pavimentar por comuna. La tabla a continuación resume las emisiones obtenidas para las comunas bajo estudio.

Tabla 104. Emisiones de PM₁₀ y PTS de caminos sin pavimentar asociados a MOP. Año 2005

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre las Casas	--	--
Temuco	537,7	3.701,29
Total	537,7	3.701,29

Fuente: MOP, Departamento de Conservación

Nota: No se entregaron datos para Padre Las Casas

En las siguiente tabla se muestra lo valores para MINVU y MOP.

Tabla 105. Emisiones de PM₁₀ y PTS de caminos sin pavimentar asociados a MINVU y MOP. Año 2005

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre Las Casas	187,40	1.289,91
Temuco	562,30	3.870,69
Total	749,70	5.160,61

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Preparación de Terrenos Agrícolas

3.4.3.1 Metodología de cálculo de emisiones y factores de emisión

Esta categoría estima emisiones de material particulado debido a la preparación del terreno agrícola para la siembra y posterior cosecha. Las operaciones que se incluyen en esta categoría son el despeje, labranza, arado y cualquier otra operación mecánica que tenga por objeto la preparación de la tierra.

Las emisiones se calculan al multiplicar un factor de emisión por un nivel de actividad que se basa en el número de hectáreas (acres) de cada cultivo. Debido a que diferentes cultivos necesitan diferentes operaciones para preparar tierra, cada cultivo tiene su propio valor de “pasadas por acre”, que corresponden al número de operaciones por acre que son típicamente necesarias para preparar un campo de un determinado cultivo. La ecuación para determinar las emisiones según la “Section 7.4 Agricultural Land Preparation, CARB, 1997” corresponde a la expresión siguiente:

$$E_{ci} = FE * A_{ci} * PA_{ci} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

E_{ci} : emisiones del cultivo tipo i [ton/año]

FE : factor de emisión [ton/pasadas]

A_{ci} : superficie del cultivo tipo i [acres]

PA_{ci} : operaciones por acre del cultivo tipo i [pasadas/acre]

El Factor de emisión del “AP-42 4^{ta} edición Section 11.2.2” se utiliza para todas las operaciones de preparación de tierra no importando la localización del cultivo o la estación en que se ejecute.

$$FE = \frac{4.8 * k * s^{0.6}}{2000}$$

Ecuación 40

Donde :

Fe: factor de emisión [ton/pasadas]

K: depende de la fracción del tamaño de partícula de interés. Para PM-10 el valor de k usado en California (“Section 7.4 Agricultural Land Preparation, CARB, 1997”) corresponde a 0,148.

s : contenido de fino en el material. Cuando no se cuenta con este tipo información la EPA recomienda un valor 18%.

El factor de emisión de EPA no considera una asociación entre la humedad del suelo y las emisiones. De acuerdo a lo señalado en la Metodología de la CARB se sabe que las emisiones del polvo son reducidas cuando la humedad del suelo es más alta. Por lo tanto, se incorporó una corrección de la emisión durante los meses más húmedos del año. Durante los meses de invierno el factor de emisión se reduce en un 25 % (en Chile es entre mayo y agosto) y en los meses más húmedos se reduce en un 50% (entre junio a julio).

En la Tabla siguiente se muestran las pasadas por acre por tipo de cultivo.

Tabla 106. Pasadas por acre por tipo de cultivo

Descripción del cultivo	Pasadas Por acre	Porcentaje anual prep (*)	Descripción del cultivo	Pasadas por acre	Porcentaje anual prep (*)
Trigo	1	100	Otras uvas	1.02	5
Centeno	1	100	Damasco	0.06	5
Arroz	5	100	Caqui	0.06	5
Otros granos aliment.	4	100	Granado	0.06	5
Maíz	4	100	Membrillo	0.06	5
Avena	1	100	Chirimoyas	0.06	5
Cebada	1	100	Otras frutas	0.06	5
Sorgo	1	100	Palta	0.06	5
Algodón	6	100	Dátil	0.06	5
Caña de azúcar	6	100	Higuera	0.06	5
Remolacha	5	100	Olivo	0.06	5
Maní	6	100	Guayaba	0.06	5
Azafrán	2	100	Kiwi	0.06	15
Sésamo	3	100	Mora	0.9	15
Girasol	5	100	Frutilla	6	100
Jojoba	3	100	Frambuesa	6	100
Otras semillas aceite	3	100	Otros arbustos	0.9	100
Habas	5	100	Almendra	0.25	5
Semilla de trigo	1	100	Avellana	0.25	5
Semilla de centeno	1	100	Nuez	0.25	5
Semilla de arroz	5	100	Castaña	0.25	5
Semilla de maíz	4	100	Pistachos	0.25	5
Semilla de avena	1	100	Otras frutas cásc. dura	0.25	5
Semilla de cebada	1	100	Alcachofa	3	100

Página 137 de 137

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

Semilla de sorgo	1	100	Espárrago	2	100
Semilla de algodón	6	100	Habas	5	100
Semilla de girasol	2	100	Brócoli	5	100
Semilla de habas	5	100	Bruselas	3	100
Semilla de arveja	5	100	Repollo	4.5	100
Otras semillas veget.	5	100	Cardo	4.5	100
Alfalfa	1.25	25	Zanahoria	5	100
<i>Trébol</i>	1.25	25	Coliflor	5	100
Otras hortalizas	1.25	25	Apio	4.5	100
Semilla de hierba	1.25	25	Cebollines	4.5	100
Ballico	1.25	25	Pepino	5	100
Otras semillas	1.25	25	Berenjena	5	100
Heno	1.25	25	Escarola	4.5	100
Paja	1.25	25	Ajo	4	100
Yuca	3	100	Rábano	5	100
Alcachofa	3	100	Melón	4	100
<i>Otros cultiv. de campo</i>	4	100	Lechuga	4.5	100
<i>Naranjos</i>	0.06	5	Champiñón	1	100
Pomelos	0.06	5	Mostaza	4.5	100
Mandarinos	0.06	5	Cebolla	5	100
Limoneros	0.06	5	Perejil	4.5	100
Limas	0.06	5	Arveja	5	100

(Continuación)

Descripción del cultivo	Pasadas Por acre	Porcentaje anual prep ^(*)	Descripción del cultivo	Pasadas por acre	Porcentaje anual prep ^(*)
Otros cítricos	0.06	5	Pimienta	7	100
Manzanos	0.06	5	Pimientos	7	100
Duraznos	0.06	5	Zapallo	4	100
Cerezos	0.06	5	<i>Nabo</i>	5	100
Perales	0.06	5	<i>Espinaca</i>	4.5	100
Ciruelos	0.06	5	<i>Acelga</i>	4.5	100
Uva de mesa	0.55	5	<i>Tomates</i>	7	100
Uva para vino	1.02	5	<i>Papas</i>	5	100
Uva para pasa	2.27	5	<i>Especias y hierbas</i>	4.5	100
			<i>Otros vegetales</i>	5	100

(*): Esta columna indica el porcentaje de tierra que es preparada cada año. Por ejemplo, la alfalfa se planta cada 4 años de modo que el 25% aparecerá en esta columna. Esto significa que en promedio, sólo 25% del total de superficie está bajo las operaciones de preparación cada año. Durante la preparación de tierra para plantar alfalfa, 5 operaciones son generalmente ejecutadas, por lo tanto 1.25 pasadas por acre (25%*5) son ejecutadas anualmente por cada acre de alfalfa plantada.
Fuente: CARB, California.

3.4.3.2 Nivel de Actividad

De acuerdo a la metodología de cálculo presentada anteriormente, el nivel de actividad asociado a la preparación de terrenos agrícolas, queda definido por:

- Superficie, en acres, del cultivo tipo “i”, Aci
- Operaciones por acre del cultivo tipo “i”, PA_{ci}

Las hectáreas de los distintos tipos de cultivos que existen en la IX región se obtienen del Censo Agropecuario del Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Dentro de los grupos de cultivo definidos por el INE y de interés en este trabajo se encuentran:

- Cereales y chacras
- Cultivos industriales
- Hortalizas
- Frutales

Para Cereales, Chacras y Cultivos Industriales se realizaron los cálculos con datos actualizados y entregados por el INE a nivel nacional y por región al año 2005; para las Frutas y Hortalizas se utilizaron datos de producción elaborados por la ODEPA, INE y CIREN; para distribuir comunamente la superficie cultivada se conservó la participación comunal del censo de 1997, tal como se muestra en siguiente tabla.

Tabla 107. Superficie sembrada por grupo de cultivos, según período y región (1996/2006)

Nacional		Superficie sembrada (hectáreas)		
Periodo	Total	Cereales	Chacras	Industriales
1996/97	888.739	690.171	121.460	77.108
1997/98	836.534	626.408	109.059	101.067
1998/99	750.701	542.575	98.107	110.019
1999/00	809.010	605.808	100.369	102.833
2000/01	846.423	645.413	108.260	92.750
2001/02	838.922	664.664	95.791	78.467
2002/03	838.353	684.613	88.200	65.540
2003/04	872.733	707.803	92.350	72.580
2004/05	857.504	687.128	85.302	85.074
2005/06	781.806	594.962	96.114	90.730
IX de La Araucanía periodo 2005-2006	247.959	191.773	20.046	36.140

Fuente: INE

Tabla 108. Hectáreas proyectadas por tipo de cultivo año 2005

Tipo de cultivo	Padre Las Casas (há/año)	Temuco (há/año)
Cereales y chacras	5.890	4.610
Cultivos Industriales	3.997	2.274
Hortalizas	463	161
Frutales	732	450
Total preparación de terrenos agrícolas	11.084	7.496

Fuente: INE, ODEPA

La estimación de emisiones se realizó utilizando el Sistema de Administración de Inventarios de Emisiones (SAIE).

Tabla 109. Emisiones por tipo de cultivo año 2005.

Comuna	Emisiones Cereales y Chacras (Ton/Ha)			Emisiones Industriales (Ton/Ha)			Emisiones Frutales(Ton/Ha)			Emisiones Hortalizas (Ton/Ha)		
	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5
Padres Las Casas	3,15	2,30	0,94	0,71	0,52	0,21	0,04	0,03	0,01	0,80	0,58	0,24
Temuco	2,11	1,54	0,63	0,40	0,30	0,12	0,13	0,10	0,04	0,72	0,52	0,22
Total	5,25	3,84	1,58	1,12	0,81	0,33	0,17	0,12	0,05	1,52	1,11	0,45

Fuente: Elaboración propia

3.5 Fuentes Fijas

3.5.1 Antecedentes

Para el desarrollo del inventario de emisiones de fuentes fijas industriales y comerciales se utilizan las siguientes fuentes de información:

1. **Inventario de emisiones para la ciudad de Temuco, año 2000 desarrollado por CENMA, en el marco del proyecto “Segunda fase estudio de la calidad del aire en regiones Urbano-Industriales de Chile”**, el cual incluye la emisión de Material Particulado (MP₁₀), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de Azufre (SO_x) y Amoniac (NH₃).

En este inventario fueron catastradas 108 fuentes, separadas por tipo de acuerdo al siguiente cuadro.

Tabla 110. Listado de tipo de fuentes catastradas en el presente estudio.

CLASIFICACION INVENTARIO	N°
CALDERA CALEFACCION	4
CALDERAS INDUSTRIALES	17
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA	18
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS	15
FABRICACION DE MADERA ELABORADA	9
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS	12
FAENAMIENTO DE ANIMALES	1
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS	6
MEZCLA DE LIQUIDOS ORGANICOS	1
PANADERIAS	6
PROCESAMIENTO DE GRANOS	14
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	5
TOTAL	108

El inventario incluye 88 fuentes en la Comuna de Temuco y 20 en Padre las Casas, de las cuales destacan las calderas industriales y los procesos relacionados a la industria de la madera elaborada.

En este inventario destaca la pequeña cantidad de panaderías (6) y calderas de calefacción (4), las que siendo de pequeño tamaño pueden tener un aporte considerable dado que en general trabajan con leña como combustible y operan en la zona urbana principalmente.

La tabla siguiente muestra los resultados estimados para el inventario 2000 de las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Tabla 111. Resumen de emisiones año 2000 de fuentes estacionarias puntuales de Temuco y Padre las Casas [Ton/año]

Clasificación de Inventario	MP ₁₀ ³	CO	NO _x	COV ⁴	SO _x	NH ₃
Caldera calefacción	8.94	17.64	18.44	0.18	261.89	4.64
Calderas estimadas ⁵	2.36	1.48	16.27	0.08	49.74	0.27
Calderas industriales	28.11	58.14	10.79	0.81	0.44	9.32
Fabr. de artículos y muebles de madera ⁶	28.48			825.81		
Fabricación de hormigón y manejo de áridos	77.73					
Fabricación de madera elaborada ⁶	12.75					
Fabricación de artículos plásticos	6.30	0.00	0.00	36.11	0.00	0.00
Faenamiento de animales	0.00					0.40
Industria de artes gráficas				15.41		
Mezcla de líquidos orgánicos				0.58		
Panaderías	0.96	1.66	0.30	0.03	0.18	0.27
Panaderías estimadas ⁷	0.86	1.83	0.20	0.03	0.01	0.29
Procesamiento de granos	56.38					
Productos de hierro y acero	0.38	0.01	0.01	0.00	0.14	0.00
Total general	223.26	80.75	46.01	879.04	312.40	15.19

1. Celdas en blanco indica que ese contaminante no es emitido por la categoría en forma significativa
2. NE, indica que el contaminante es emitido pero no pudo ser estimado
3. Expresado como:
 - MP₁₀ : Material particulado bajo 10 micrones
 - MP : Material particulado total
4. Expresados como:
 - COT: compuestos orgánicos totales
 - COTNM : compuestos orgánicos totales no metánicos
 - COV: compuesto orgánico volátil (subconjunto de COT)
 - GOT: gases orgánicos totales.
5. Calderas estimadas: Se creó esta categoría para mejorar la cobertura del inventario, nace del supuesto de que todo los petróleos pesados consumidos en la región, descontando la cantidad asociada a fuentes identificadas en el inventario, son utilizados por calderas, así la emisión de las calderas no identificadas es igual a la producida por el consumo de dicho combustible, el consumo fue estimado a partir de información de la SEC para el año 2000. No se estimaron las calderas que utilizaban leña a partir de información del “Censo de la Industria Manufacturera 1997”, pues el valor de consumo para la zona era menor al obtenido de las fuentes visitadas en terreno.
6. Información industrial del INE, año 1997 señala que existían en la región 37 empresas de estos rubros en la IX Región, se visitaron 13 consideradas las más significativas en emisiones. Sin embargo, hay que considerar que las emisiones de esta categoría están subestimadas.
7. Panaderías estimadas: Se creó esta categoría para mejorar la cobertura del inventario, estimándose las emisiones de panaderías a partir del consumo de leña obtenido del “Censo de la Industria Manufacturera 1997” de INE, para la categoría “Elaboración de Productos de Panadería”.

Las mayores deficiencias de este inventario tienen que ver con la falta de cobertura en la comuna de Temuco y Padre las casas de las calderas de calefacción y las panaderías.

2. Estudio “Identificación de una relación entre las emisiones de fuentes de material particulado y las concentraciones de material particulado respirable en las comunas de Temuco y Padre Las Casas”, elaborado por P. Sanhueza, 2005, se actualizó el inventario, tomando como año de referencia el 2004, el cual se considera año base para la elaboración del PDA.

Este inventario se basa en el inventario 2000, sin actualizar los niveles de actividad, pero agregando una cantidad de 108 calderas de calefacción. Sin embargo, no se dispone de la base de datos de estas fuentes, que permita identificar sus características, localización u otros, se cuenta solo con una planilla que identifica el nombre del edificio incluido en el inventario, su localización geográfica, el tipo de combustible empleado y la emisión estimada.

La falta de mayores datos no permite integrar estas fuentes al inventario a desarrollar.

3. Base de datos del registro de calderas de calefacción y agua caliente de la SEREMI de salud.

Esta base de datos permite identificar un total de 407 calderas ubicadas en la ciudad de Temuco y 11 en Padre las Casas, sin embargo no cuenta con información del tipo de combustible empleado para la totalidad de ellas, ni sus consumos, datos de chimeneas, localización geográfica y descripción del tipo de caldera.

Para integrar este tipo de fuentes se requieren mayores datos tales como los que se obtienen de las revisiones y pruebas de calderas.

4. Declaración de emisiones en el marco del decreto N° 138.

Para las industrias de mayor tamaño, se cuenta con la exigencia del Decreto 138 del MINSAL, que obliga a este tipo de fuentes a reportar sus emisiones.

La aplicación de este decreto, se realiza mediante un software del tipo “programa cliente”, para este efecto “Formulario 138” encargado por el Ministerio de Salud y desarrollado por DICTUC.

El decreto supremo N° 138/05, del Ministerio de Salud, establece la obligación de entregar los antecedentes necesarios para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos de los siguiente rubros, actividades o tipos de fuentes: calderas generadoras de vapor y/o agua caliente; producción de celulosa; fundiciones primarias y secundarias; centrales termoeléctricas; producción de cemento, cal o yeso; producción de vidrio; producción de cerámica; siderurgia; petroquímica, asfaltos y equipos electrógenos.

El proceso de declaración de emisiones, no se ha realizado con anterioridad en la mayor parte del país y, se requiere contar con un sistema que permita sistematizar y manejar la información

Página 143 de 143

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5967 / Fax: (56-2) 686 5803 / www.dictuc.cl,
www.solucionesambientales.cl

generada en forma segura, rápida y eficiente, por lo que se ha desarrollado un formulario electrónico único para tales efectos. El formulario antes señalado, corresponde a una adaptación del formulario desarrollado por una empresa del rubro, para la Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA, para implementar el sistema de Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes RETC, que Chile tiene comprometido a través del Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos de Norteamérica. Para el diseño del formulario se tomó como base la metodología implementada por el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente mediante la Resolución 15.027, que establece el procedimiento de declaración de emisiones para fuentes fijas en la Región Metropolitana del Gran Santiago.

Los plazos para que las empresas cumplieran con el proceso de declaración de emisiones se cumplieron a fines del 2006, la exigencia consistía en declarar las fuentes y niveles de actividad efectivamente desarrollados durante el año 2005.

A la fecha se cuenta con la declaración de 3 establecimientos industriales localizados en Temuco, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 112. Establecimientos industriales

Empresa	Comuna	Establecimiento	Fuentes
MALTERIAS UNIDAS	TEMUCO		2 calderas industriales
MEGASALUD S.A.	TEMUCO	CENTRO MÉDICO Y DENTAL TEMUCO	2 calderas de calefacción
CURTIEMBRE Y CALZADOS BUSTOS LTDA.	TEMUCO		1 caldera industrial.

3.5.2 Conclusiones revisión de antecedentes

La estimación de emisiones de MP_{10} , $MP_{2,5}$, CO, NO_x y SO_2 utilizadas en el inventario de emisiones del año 2001. Se realizó utilizando mediciones en el ducto de descarga, balances de masa y utilización de factores de emisión.

Los factores de emisión utilizados en las estimaciones de inventario son los siguientes:

Tabla 113. Factores utilizados en estimación de emisiones en calderas y procesos en base al consumo de combustible (Unidad del Factor : Kg Emisión/ Kg Combustible)

Nº	Tipo de Combustible Genérico	MP	CO	NOx	COT	SOx	NH ₃	Source Category
1	CARBON	0,00310	0,00300	0,00375	0,00003	0,05510	8,6E-04	Carbón Bituminoso
2	MADERA	0,00320	0,00680	0,00075	0,00011	0,00004	1,1E-03	Desecho de Leña en Proceso
3	PETROLEO N°6	0,00125	0,00061	0,00676	0,00003	0,02364	1,1E-04	Petróleo N°6
4	PETROLEO N°5	0,00089	0,00063	0,00691	0,00004	0,01990	1,2E-04	Petróleo N°5
5	PETROLEO N°2	0,00020	0,00071	0,00283	0,00005	0,00420	1,4E-04	Petróleo N°2
6	GAS	0,00013	0,00076	0,00441	0,00008	0,00001	6,6E-05	50% Propano + 50%Butano
7	GAS NATURAL	0,00017	0,00189	0,00226	0,00012	0,00028	3,9E-08	Nat. Gas Comb, Small Industrial Boilers

Fuente: Factores Calculados a Partir de Factores EPA.

El tipo de información disponible asociada a mediciones generalmente corresponde a muestreos de emisiones de material particulado y en ocasiones a gases generalmente NO_x, y CO. En el caso de los balances de masa se utilizaron principalmente para el cálculo de emisiones evaporativas de compuestos orgánicos volátiles (VOC) y emisiones de SO₂, considerando que todos los compuestos orgánicos y el azufre contenidos en la materia prima son liberados a la atmósfera como COV y SO₂. Los factores de emisión se utilizaron de acuerdo a la metodología internacional relacionando el nivel de actividad de la fuente con las emisiones de un contaminante dado; para esto se utilizó el consumo de combustible, datos de producción y ciclo de funcionamiento.

En este estudio se utilizará la información recopilada a través de los formularios de declaración de emisiones electrónica la cual entrega información de emisiones en ducto y datos necesarios para aplicar factores de emisión internacionales para estimar las emisiones de las fuentes estacionarias puntuales: combustión y procesos ubicadas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Uno de los puntos a mejorar respecto del inventario 2001, es el cálculo de las emisiones generadas por las calderas tanto industriales como de calefacción las cuales fueron incluidas como “calderas estimadas” a través del cálculo de emisión en base al combustible entregado por la SEC.

Como elemento ordenador del desarrollo del inventario base 2005, se enmarcarán las fuentes emisoras en estudio dentro de la estructura de los inventarios regionales adoptados por CONAMA Metropolitana, de forma tal de mantener la coherencia en la denominación de fuentes y hacer posible la comparabilidad.

Dado la baja cobertura que ha tenido a la fecha el cumplimiento por parte de las empresas de la obligación de la declaración de emisiones 138, se hace necesario realizar una revisión de los antecedentes disponibles por la SEREMI de Salud de la Región respecto a las revisiones y pruebas de calderas, así como implementar una campaña de fiscalización que permita

aumentar la cobertura de cumplimiento del decreto, especialmente en fuentes que operan con leña, tales como calderas industriales y de calefacción industrial y residencial.

3.5.3 Reporte de Actividades Campaña de Terreno Caracterización Industrial

En esta sección se detallan las actividades realizadas en las comunas de Temuco y Padre las Casas, para la recopilación de antecedentes sobre la contaminación proveniente de la combustión de calderas de calefacción, calderas industriales y hornos de panadería.

3.5.3.1 Metodología

Las siguientes son las actividades desarrolladas en la campaña de terreno:

- Reuniones en CONAMA con el señor Mauricio Lobos, en donde se recopilaron antecedentes sobre las calderas de calefacción y calderas industriales, que consumen combustibles principalmente leña.
- Reuniones en el SEREMI de Salud con el Señor Ricardo Ulloa, también se realizó una recopilación de antecedentes y se organizaron visitas a terreno guiadas con los distintos inspectores del SEREMI (Claudio del Sol y Jorge Becerra).
- Visitas a terreno de las diferentes calderas de calefacción, industrias y panaderías ubicadas en las comunas de Temuco y Padre las Casas.

3.5.3.2 Resultados

Jueves 12 Abril

Se asistió a una reunión en CONAMA con Mauricio Lobos, Eduardo Schleef y Ricardo Ulloa del SEREMI de Salud, en donde se analizó la base de datos y se identificaron algunas posibles fuentes fijas que ya no estaban en funcionamiento por diferentes motivos, como por ejemplo incendios, cambios de giro, cambio de combustible, etc.

Por otro lado también se visitó las oficinas del SEREMI de Salud en donde se recopilaron mas datos sobre las distintas fuentes fijas ubicadas en Temuco y Padre las Casas, esta actividad fue de larga duración ya que la información no se encontraba canalizada en una base de datos general.

Viernes 13 Abril

En conjunto con el inspector Claudio del Sol se visitaron distintas calderas de calefacción de la zona centro de la ciudad de Temuco, de las cuales la mayoría ya había cambiado el tipo de combustible, desde leña a petróleo Diesel.

Sábado 14 Abril

Se visitaron en forma particular (sin la presencia de un inspector del SEREMI de Salud) las distintas calderas de calefacción y hornos de panadería de la zona centro de Temuco, se obtuvo una gran cantidad de información sobre el número de calderas presentes en los edificios y el tipo de combustible, en cuanto a las panaderías no se recopiló muchos datos debido a que por ser un lugar en donde se manipulan alimentos, los administradores exigían la presencia de un representante del SEREMI.

Lunes 16 Abril

Junto con el inspector Jorge Becerra, se visitaron panaderías, de Temuco y Padre las Casas, de las cuales se presumía que el combustible era leña, aserrín y viruta, sin embargo, pudo verificar que la mayoría ya había cambiado el combustible a Diesel o Gas licuado.

Martes 17 Abril

En dos grupos se visitó primeramente las empresas de Temuco junto a Carolina Camelio, representante del SEREMI de Salud, y en segundo lugar las calderas de calefacción restante de Temuco.

Miércoles 18 Abril

Se visitaron tanto empresas, como calderas de calefacción y algunos hornos de panadería que estaban pendientes y se analizó la información recopilada durante los días trabajados en Temuco.

A continuación se muestran tablas resumen con las fuentes visitadas y el tipo de combustible que utiliza.

Tabla 114. Cuadro resumen fuentes fijas (Calderas Industriales)

NOMBRE	TIPO COMBUSTIBLE
Madera Bartolomé	Leña y despunte
Curtiembres Bustos	Leña
Empresas Collahue	Leña
Frigorífico Temuco	Leña
Embonor S.A.	Chip de madera.
Promasa S.A.	Aserrín y viruta.
Rosen S.A.	Leña, envases de cartón y briquetas de biomasa.
Malterías Unidas.	Carbón mineral.
Magasa	Aserrín y despunte.
Magisur	Aserrín
Fundición Super Star	Carbón mineral
Yunque Ltda.	Gas y eléctrico
Constructora Molco S.A.	Despunte

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 115. Cuadro resumen fuentes fijas (hornos de panadería)

NOMBRE	TIPO COMBUSTIBLE
Panadería Licanray	Gas
Panadería Italia	Diesel
Sociedad Panificadora Massardo Ltda.	Diesel
Supermercado Unimarc S.A.	Diesel
Panificadora Canseco Limitada	Diesel
Panadería La Selecta	Eléctrico
Supermercado El Trebol	Gas
Panadería Omas Brot	Eléctrico
Industrial Colico Ltda.	Diesel
Panadería Doña Camila	Gas
Panadería Monte Verde	Leña
Panadería Millaray	Eléctrico
Panadería La Fortuna	Leña
Panadería Hidalgo	Leña
Panadería San Diego	Diesel
Supermercado Santa Isabel S.A.	Diesel y Gas
Pinky Panadería	Gas
Alvial Vergara Eladio	Leña
Panadería La Anónima	Diesel
Fábrica De Empanadas	Leña

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 116. Cuadro resumen fuentes fijas (Calderas de Calefacción)

NOMBRE	TIPO COMBUSTIBLE
Hotel Don Eduardo	Diesel
Inmob. Las Raíces	Leña
Centro Diálisis Tecnodial Temuco	Gas
Comercial Marriet Ltda.	Eléctrico
Edificio Cordillera	Leña
Edificio Andrés Bello	Leña
Edificio Corp Banca	Diesel
Com. Edif. Plaza	Aserrín y Viruta
Corp. Ed. Asoc. de Ahorro Y Préstamo	Aserrín y Viruta
Comunidad Edif. A.A.P. De La Frontera	Aserrín y Viruta
Corp. Ed. Asoc. de Ahorro Y Préstamo	Aserrín y Viruta
Hotel Bayern	Diesel
Banco Chile	Diesel
Comunidad Edif. Varas	Aserrín y Viruta
Banco Scotiabank	Leña
Edificio Banco Central	Diesel
Soc. Periodística Araucanía	Leña y diesel
Hotel Aitue	Diesel
Inst. Rehabilitación Infantil	Gas
Hotel Sevilla	Gas
Universidad Mayor	Diesel
Ministerio Obras Publicas	Diesel
Inmobiliaria Temuco S.A.	Diesel

Edificio Arauco	Diesel
Edificio Intendencia	Diesel
Ministerio de Educación	Diesel
Edificio Antumalal	Diesel
Inmob. Pucon S.A. Ed. Campanario A/95	Diesel
Edificio Torre Campanario	Diesel
Edificio Peñafiel	Diesel
Cinerario Temuco	Diesel
Inversiones RS Ltda.	Diesel
Inmobiliaria Los Sauces Ltda.	Diesel
Pacheco Acuña Zunilda	Diesel
Alicia Hoger	Diesel
Edificio La Araucanía	Diesel
Hotel Nicolás	Diesel y Gas
Hotelería Centro Ltda.	Diesel
Fundación La Familia	Diesel
Sala Cuna Y Jardín Infantil Ayelen	Diesel
Carrillo Aburto Rosa Albina	Diesel
Mutual de Seguros De Chile	Diesel
Constructora Simón Bolívar Ltda.	Gas
María Teresa Carmine	Diesel
Edificio Don Pedro	Gas
Hotel Turismo	Diesel
Unidad de Posesiones Efectivas	Leña
Inversiones Electroluz S.A. N° 1	Diesel
Aguilera Bernedo Nelson	Diesel
Alicia Olave Sotomayor Y Otro	Diesel
Rivas Klare Verónica Isabel	Diesel
Edic. Alonso de Ercilla	Diesel
Megasalud	Diesel
Hotel Nueva Frontera	Aserrín y Viruta
Hotel Frontera	Aserrín y Viruta
Com. Edif. Diario Austral	Aserrín y Viruta
Edif. Fourcade Copropietario	Diesel
Com.Edif. Banco O'Higgins	Diesel
Inmobiliaria Loncostraro	Leña.
Sporting Ltda.	Diesel
Hospital Regional De Temuco	Diesel
Supermercado El Trébol	Gas
Consultorio Miraflores	Diesel
Hotel Continental	Leña
Cine Sur	Leña
Banco O'Higgins	Leña
Edificio Alemania	Leña
Edificio Amancay	Diesel y leña
Edificio Versailles	Leña

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3.3 Comentarios

De la campaña realizada se puede concluir lo siguiente:

- Una parte de las fuentes fijas ya no utilizan leña para la combustión, si no que han cambiado el combustible a Diesel para las calderas de calefacción, en cuanto a los hornos de panaderías estos están utilizando gas licuado o han cambiado a hornos más modernos que utilizan electricidad.
- Se detectó como una fuente de emisiones no considerada anteriormente, la incineración de residuos domiciliarios en edificios. Esta practica esta prohibida en la RM, se sugiere que a futuro se estudie si esta actividad es desarrollada más ampliamente en la zona, ya que tiene un alto impacto por emisiones.

3.4.4 Resultados Inventario Fuentes Estacionarias Puntuales 2005

Los niveles de actividad requeridos para el cálculo de emisiones de fuentes estacionarias puntuales incluyen tres tipos de parámetros básicos, que dependen de la disponibilidad de información y de la metodología utilizada:

- Consumo de combustible
- Materias primas utilizadas en el proceso.
- Producción.

La información sobre el nivel de actividad y la necesaria para caracterizar la fuente se obtuvo de tres formas:

- Información existente en la base de datos del inventario 2000, desarrollado por CENMA.
- Información proveniente del SEREMI de Salud de IX Región.
- Visitas a terreno realizadas por especialistas de DICTUC S.A., recopilación de información sobre el uso de materias primas y producción durante el año 2005.

Las visitas a terreno fueron realizadas a las empresas más significativas en emisiones, tomando en cuenta principalmente opinión experta de los Servicios de Salud de la región. Debido a las limitaciones propias del estudio, no fue posible realizar un catastro de todas las calderas, ni de las panaderías de la región, se priorizo en la incorporación de las panaderías y calderas de calefacción que utilizan leña como combustible, las fuentes visitadas fueron georreferenciadas utilizando un posicionador satelital (GPS).

Un resumen del número de las fuentes calculadas y el origen de la información para el inventario de Temuco y Padre las Casas se muestran en la Tabla 117.

En la se muestra el tipo de combustible utilizado en cada una de las categorías y el número de fuentes que lo utilizan en Temuco y Padre las Casas.

Las fuentes están clasificadas de acuerdo a la codificación EPA (SCC), que permite identificar fácilmente los factores de emisión disponibles para cada tipo de fuentes.

En la Tabla 118 se muestra el consumo de combustible para cada una de las categorías en Temuco y Padre las Casas. En la Tabla 119 se resumen las emisiones calculadas para las comunas de Temuco y Padre las Casas por categoría de inventario.

Tabla 117. Número de fuentes estimadas por categoría y origen de la información año 2005 - Temuco y Padre las Casas

Categorías del Inventario	N° de Fuentes			
	ESTUDIO CENMA	ESTUDIO DICTUC	DEC 138	Total general
CALDERA CALEFACCION	1	292		293
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA ²	6	11		17
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS	15			15
FABRICACION DE MADERA ELABORADA	3	6		9
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS	5	7		12
FAENAMIENTO DE ANIMALES		1		1
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS		6		6
PROCESAMIENTO DE GRANOS	13			13
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	5	6		11
PANADERIA	3	55		58
CALDERA INDUSTRIAL	3	15	3	21
Total general	54	399	3	456

¹ Empresas que declararon sus emisiones en el Decreto Supremo N° 138

² Información industrial, recopilada en terreno, se visitaron empresas consideradas las más significativas en emisiones. Sin embargo, hay que considerar que las emisiones de esta categoría están subestimadas.

En esta actualización del inventario se priorizaron las fuentes de combustión que utilizan leña como combustible, por tal motivo se catastraron un gran número de calderas de calefacción y panaderías, las que sin tener un gran tamaño, dado su localización geográfica cercana a los centros poblados de Temuco y Padre las Casas, pueden tener un impacto en la calidad del aire de la ciudad.

Se visitaron también calderas industriales que fueron catastradas por CENMA en el inventario 2000, con el fin de actualizar y revisar los valores de consumos de combustible y la existencia de equipos de control de emisiones, georreferenciar y catastrar los valores de alturas y diámetros de las chimeneas de descarga.

Se puede ver que a la fecha de realización de la campaña de terreno, el número de fuentes que declararon sus emisiones de acuerdo al decreto 138 MINSAL, era minoritaria, las fuentes que no lo han realizado están en incumplimiento de un decreto ministerial, por lo que tendrán que ponerse al día en el futuro con esta exigencia. El contar con la declaración electrónica anual de todas las fuentes de la región, permitirá actualizar el inventario comunal y regional en forma periódica e implementar el seguimiento de las medidas del Plan de Descontaminación Atmosférica en elaboración.

A pesar que en este informe se incluyen solo los resultados de las comunas de Temuco y Padre las Casas, en la base de datos desarrollada, se incluye la información proporcionada por empresas que declararon en otras comunas mediante el DS 138.

Tabla 118. Número de fuentes por categoría y combustible utilizado en la estimación de emisiones para inventario año 2005 de Temuco y Padre las Casas

Categorías del Inventario	Carbón	Elect.	Gas	Madera	Pet. N°2	Pet N°5	Sin Comb.	Total
CALDERA CALEFACCION			5	25	236		27	293
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA		2					15	17
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS		4					11	15
FABRICACION DE MADERA ELABORADA		2					7	9
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS		5			1		6	12
FAENAMIENTO DE ANIMALES		1						1
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS							6	6
PROCESAMIENTO DE GRANOS		13						13
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	2	5	2	2				11
PANADERIA		4	10	8	34		2	58
CALDERA INDUSTRIAL	2			10		1	8	21
Total general	4	36	17	45	271	1	82	456

En los resultados de la campaña a terreno destacan el gran número de calderas de calefacción que se encuentran operando con petróleo diesel y gas, esta situación implica que su uso como combustible, no es prohibitivo, que es factible técnica y económicamente, además de su conveniencia desde el punto de vista de las emisiones. Otro punto a considerar es la inconveniencia que representa el almacenamiento de residuos de madera y leña en los sótanos de los edificios, desde el punto de vista del espacio que requiere y de las condiciones de seguridad y salubridad.

Las calderas de calefacción que aparecen como “sin combustible” corresponden a fuentes fuera de uso o desmanteladas, ya sea por renovación, quiebra o incendio de la empresa.

Destaca el uso mayoritario de leña en calderas industriales, el que se justifica si son utilizados residuos de la misma industria, como es el caso de las fábricas de madera elaborada y de muebles, donde despuntes, aserrines y virutas de madera seca son usadas como combustible. Las tecnologías de combustión utilizadas son las convencionales e implican altas emisiones de material particulado, existen tecnologías de combustión para residuos de madera o leña y equipos de control de emisiones que pueden reducir considerablemente las emisiones actuales.

En el caso de las panaderías, es injustificable el uso de leña como combustible, desde el punto de vista sanitario y ambiental, a pesar que pueda tener un impacto en los costos de producción (se debe evaluar su real impacto actual), destaca que solo el 14% de las panaderías catastradas lo utilice como combustible.

Tabla 119. Consumo de combustible por categoría, año 2005 Temuco y Padre las Casas [Ton/año]

Clasif. Inventario \ Comb. Gene.	Carbón	Elec.	Gas	Madera	Pet N°2	Pet N°5	Total
CALDERA CALEFACCION			9,9	11.812,5	2546,1		14.368,5
CALDERA INDUSTRIAL	6.000,0			13.051,8		7,6	1.9059,4
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA		0,0					0,0
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS		0,0					0,0
FABRICACION DE MADERA ELABORADA		0,0					0,0
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS		0,0			0,1		0,1
FAENAMIENTO DE ANIMALES		0,0					0,0
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS							0,0
PANADERIA		0,0	21,7	1.182,0	420,6		1624,3
PROCESAMIENTO DE GRANOS		0,0					0,0
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	21,6	960,0	36,0	97,2			1114,8
Total general	6.021,6	960,0	67,5	26.143,5	2966,8	7,6	36.167,1

En la tabla anterior destaca el alto consumo de residuos de madera y leña, con volúmenes similares en calderas de calefacción e industriales, lo que se debe al menor poder calorífico de este combustible al compararlo con las alternativas energéticas.

La estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos se realiza principalmente a partir de factores de emisión disponible en la EPA, dado que no existen mediciones en las fuentes catastradas. Estos factores dependen principalmente del tipo y cantidad de combustible empleado, del tipo de tecnología de combustión y de los equipos de control de emisiones en funcionamiento en cada fuente.

En las visitas realizadas a industrias y edificios, que utilizaban leña o residuos de madera como combustible, se constato que mayoritariamente las tecnologías de combustión de leña en operación son convencionales y en algunos casos antiguas y en mal estado.

Tabla 120. Resumen de emisiones año 2005 de fuentes estacionarias puntuales de Temuco y Padre las Casas [Ton/año]

Clasificación de Inventario	MP ₁₀ ²	CO	NO _x	COV ³	SO _x	NH ₃
CALDERA CALEFACCION	38,8	83,74	22,54	1,5	11,1	13,2
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA	0,5	0	0	0,3	0,0	0,0
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS	39,4	0	0	0,0	0,0	0,0
FABRICACION DE MADERA ELABORADA	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS	0,0	0	0	33,0	0,0	0,0
FAENAMIENTO DE ANIMALES	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0
PROCESAMIENTO DE GRANOS	85,7	0	0	0,0	0,0	0,0
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	1,6	10,08	0,238	0,0	0,1	0,1
PANADERIA	4,2	8,481	2,116	0,2	1,7	1,4
CALDERA INDUSTRIAL	66,1	126,7	34,55	1,9	331,3	22,6
Total general	236,3	229	59,44	36,9	344,3	37,3

MP₁₀ : Material particulado bajo 10 micrones

COV: compuesto orgánico volátil (subconjunto de COT).

De acuerdo a los resultados del inventario desarrollado, las comunas de Temuco y Padre las Casas, se caracterizan por no tener fuentes de gran tamaño que puedan ser consideradas megafuentes, la mayoría de las fuentes existentes en estas comunas pueden ser consideradas pequeñas, destacando la gran cantidad de calderas de calefacción.

En la Figura siguiente se observa un importante consumo de madera, petróleo y carbón asociados al uso en calderas de calefacción y calderas industriales. En las visitas a terreno se constató que la madera utilizada era principalmente de desechos asociados a la producción de maderas o muebles, del tipo aserrín, viruta y despunte.

Al analizar los resultados del inventario se deben tener en cuenta la estacionalidad de las emisiones, las calderas de calefacción operan normalmente con alta carga en invierno, por concepto de calefacción, solo algunas generan agua caliente en verano. Las calderas industriales suelen tener también una mayor carga en invierno debido a las condiciones atmosféricas y la calidad de la materia prima con que opera cada industria.

Las operaciones de recepción y descarga de granos suele tener también una temporada característica, por lo que las emisiones de polvo en estas operaciones es estacional, normalmente el grano es almacenado y procesado durante todo el año, por lo que las emisiones de limpia y molienda son homogéneas en el año.

En la zona operan fundiciones de hierro y acero, con dos tipos de tecnologías muy diferentes, hornos de fundición por inducción eléctrica y horno cubilotes, los que suelen operar por

Las emisiones reportadas como electricidad corresponden a procesos de limpieza de granos, hornos de inducción eléctricos, mezcladores, dosificadores y otros equipos de la industria de áridos, que operan con motores eléctricos.

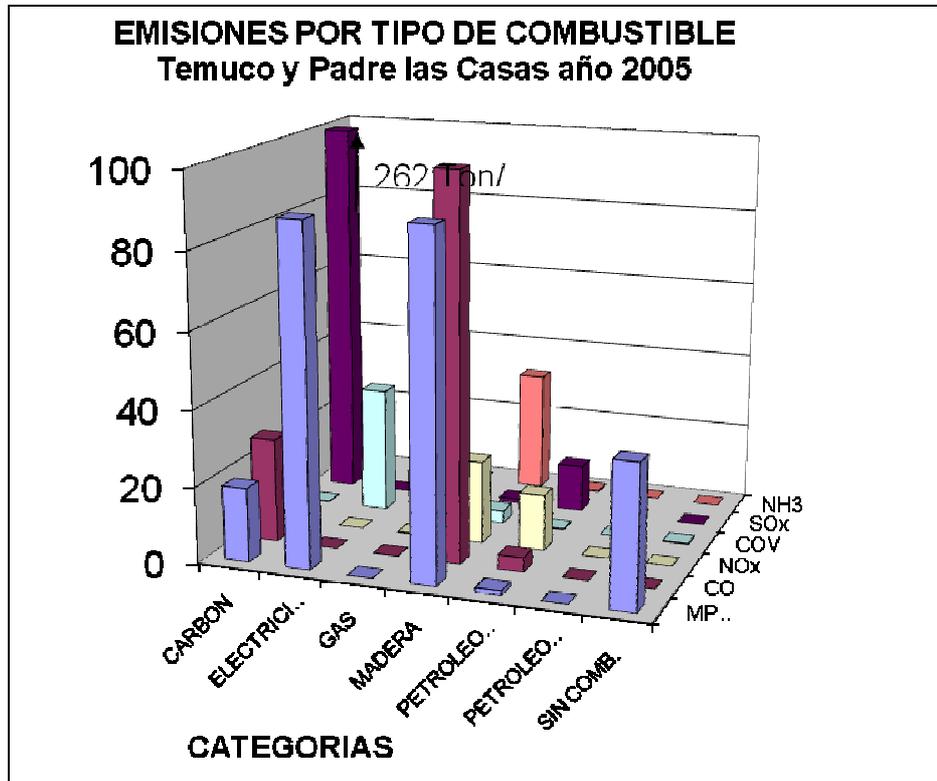


Figura 29. Emisiones de fuentes estacionarias puntuales por tipo de combustible

4 ESCENARIOS DE EMISIÓN 2010 Y 2015

4.1 Identificación de medidas orientadas a la reducción de emisiones enmarcadas dentro del PDA

A continuación se listan las medidas asociadas a distintas fuentes emisoras que serán consideradas para el desarrollo de los escenarios de emisión 2010 y 2015. Estas medidas están contenidas en el Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférico (PDA) para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Como antecedentes generales, el objetivo del PDA es dar cumplimiento a la norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, contenida en el D.S. N°59/98 (MINSEGPRES) de manera de proteger la salud de la población. Este Plan regirá en las comunas de Temuco y Padre Las Casas declaradas como zona saturada.

El PDA pone especial énfasis en la reducción de emisiones provenientes de la combustión residencial de leña, debido a que ésta es la principal fuente de MP10 en la zona. Además, se complementa con medidas de control asociadas a fuentes industriales, de transporte y agrícolas.

En lo que se refiere a la combustión residencial de leña, las medidas se enmarcan en las siguientes líneas estratégicas:

- Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de la leña.
- Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos residenciales que combustionan leña.
- Regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda.

Tabla 121. Listado de medidas combustión residencial de leña

Medidas asociadas al control de emisiones de combustión residencial de leña		
Artículo	Medida	Cómo aplica en el cálculo de emisiones
Art. N° 4 al N° 8	La totalidad de la leña que sea comercializada y utilizada, deberá cumplir con un contenido de humedad menor o igual al 25% en base seca	Se considerará un 25% de humedad en base seca para la madera de combustión residencial
Art. N° 9 al N° 12	Con respecto al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos residenciales que combustionan leña, la existencia de un registro y declaración de artefactos residenciales de combustión, programa de recambio de artefactos de combustión existentes,	No se entregan las herramientas concretas para evaluar esta medida. Se evaluará un posible cálculo de la medida.

	prohibición de utilizar en zonas urbanas y de expansión urbana, chimeneas de hogar abierto	
Art. N°13 al N° 17	Referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda: un subsidio especial para el mejoramiento térmico de la vivienda existente; avanzar en la certificación térmica de vivienda nuevas; factibilidad de incorporar un subsidio adicional destinado al mejoramiento térmico de las viviendas nuevas	No se entregan las herramientas concretas para evaluar esta medida.

Tabla 122. Listado de medidas fuentes industriales, comerciales y calderas

Medidas asociadas al control de emisiones de fuentes industriales, comerciales y calderas de calefacción grupales				
Artículo	Medida			Cómo aplica en el cálculo de emisiones
Art. 18	Se prohíben las emisiones de gases y partículas no efectuadas a través de chimeneas o ductos de descarga.			Se consideran sistemas de abatimiento de emisiones.
Art. 19 y 20	Normas de emisión para fuentes puntuales grupales y puntuales, y calderas de calefacción grupal existente y nueva. De acuerdo a la siguiente tabla			Se considera reducción de emisiones en las fuentes que sean capaces de cumplir la norma.
	Categorías de Fuentes	Fuentes Puntuales	Fuentes Grupales	Calderas de Calefacción Grupal
		Concentración máxima permitida MP (mg/m ³ N)		
	Existentes	112	112	112
	Nuevas	56	56	56
Art. N° 21 al N° 25	Exigencia de muestreo isocinético de fuentes de acuerdo al Método CH-5, exceso máximo de aire de acuerdo a los combustibles utilizados, periodicidad de los muestreos isocinéticos de acuerdo al combustible a utilizar; programa de fiscalización de la Seremi de Salud; acreditación de laboratorios.			No aplicable al cálculo de emisiones.

Tabla 123. Listado de medidas fuentes de quemas agrícolas

Medidas asociadas al control de emisiones quemas agrícolas y otras quemas no clasificadas		
Artículo	Medida	Cómo aplica en el cálculo de emisiones
Art. N° 26 al N° 27	Prohibición de quemas agrícolas y forestales en el período comprendido entre el 1 ^a de Abril al 30 de Septiembre de cada año	Se evaluarán 2 escenarios para esta medida.

Art. N° 28	Prohibición de quemas al aire libre, o en la vía pública o recintos privados, de hojas secas restos de podas y todo tipo de desperdicios.	No se entregan las herramientas concretas para evaluar esta medida.
------------	---	---

Tabla 124. Listado de medidas del sector transporte público

Medidas asociadas al control de emisiones de Transporte Público de las comunas de Temuco y Padre Las Casas		
Artículo	Medida	Cómo aplica en el cálculo de emisiones
Art. 29	En el plazo de seis meses contados de la publicación en el Diario Oficial del presente decreto, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, en el marco de sus facultades legales, deberá implementar un programa destinado a que el sector de transporte público no incremente las emisiones que generaba al año 2007.	No se entregan las herramientas concretas para evaluar esta medida. Se proponen 2 escenarios.

4.2 Proyección de emisiones 2010 y 2015

4.2.1 Fuentes móviles

Respecto a la medida indicada en el PDA asociada al sector transporte, el Capítulo V Artículo 29, establece que el MTT deberá implementar un programa destinado a que el sector transporte público no incremente las emisiones generadas al año 2007. En esta medida no se establecen las herramientas concretas que se emplearán para el estancamiento en las emisiones de este sector.

En este contexto, las emisiones año 2010 y 2015 fueron calculadas utilizando como base:

- La modelación de transporte desarrollada por MIDEPLAN-SECTRA correspondiente al escenario de transporte proyectado al 2010, y facilitadas por dicha institución para ejecutar la presente proyección de emisiones. Respecto al escenario 2015, se proyectaron los flujos reportados en la modelación 2010 considerado un incremento de 1,16% para taxis colectivos 1,20% para camiones pesados y 1,22% para vehículos de flujo variable, obtenidos del incremento proyectado del parque 2010-2015. Se mantuvo constante la participación de buses de transporte público respecto al año 2010.
- Composiciones tecnológicas del parque automotriz de Temuco y Padre Las Casas proyectadas al 2010 y 2015 con datos provenientes de Permisos de Circulación de los últimos años, Plantas de Revisión Técnica y tomando como base las participaciones tecnológicas porcentuales, generadas por categoría vehicular, proyectadas para los tres sectores identificados de acuerdo a la zonificación efectuada para el área de estudio, descrita en secciones anteriores, proveniente del estudio PACIN II de MIDEPLAN-SECTRA. Para el escenario 2015 por ser una proyección a 10 años respecto al escenario base 2005, se consideró la misma composición para toda el área de estudio, según tipo de vehículos, independizándose del sector geográfico (tres sectores definidos para el escenario 2005 y 2010).
- En las composiciones procesadas para el presente estudio, se considera un congelamiento del parque de buses de transporte público de 748 buses, según los antecedentes entregados por la Seremi de Transporte IX Región. La siguiente tabla entrega la composición de buses proyectada para el año 2010 y 2015, considerando 2 escenarios:

Escenario Conservador: Considera una vida útil de buses de transporte público de 20 años.

Escenario Optimista: Considera una vida útil de buses de transporte público de 18 años.

Tabla 125. Composición del Parque de Buses Urbanos (%) según Norma de Emisión, Temuco y Padre Las Casas, según escenarios.

Tecnología Bus	Esc. Base 2005	Esc. Conservador (Vida Útil 20 años)		Esc. Optimista (Vida Útil 18 años)	
		2010	2015	2010	2015
Sin Norma	58,7%	31,4%	0,0%	11,2%	0,0%
EURO I	24,6%	24,6%	20,9%	24,6%	5,9%
EURO II	16,7%	44,0%	79,1%	64,2%	94,1%
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Datos bases provenientes de SEREMI de Transporte IX Región.
Proyecciones elaboradas por el consultor.

- Respecto a los taxis colectivos, se consideran dos escenarios:

Escenario Conservador: Considera un crecimiento de 3% anual, según cifras entregadas por la SEREMI de Transporte. Esta cifra se debe al congelamiento del parque a nivel regional.

Escenario Optimista: Considera un crecimiento anual de 3% y una antigüedad límite de 5 años para este tipo de vehículo de transporte.

La siguiente tabla entrega las composiciones proyectadas para los años 2010 y 2015 y sus dos escenarios, a partir de los supuestos descritos.

Tabla 126. Composición del Parque de Taxicolectivos (%) según Norma de Emisión, Temuco y Padre Las Casas, según escenarios.

Tecnología Taxi Colectivo	Parque 2005	Esc. Base 2005	Esc. Conservador (crecimiento 3% anual)		Esc. Optimista (antigüedad 5 años)	
			2010	2015	2010	2015
No Catalíticos	16	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Catalíticos T1	699	68,9	63,1	54,6	0,0	0,0
Catalíticos T2	129	12,7	18,1	26,7	81,2	81,2
Diesel	170	16,8	18,8	18,8	18,8	18,8
Total	1014	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Datos bases provenientes de SEREMI de Transporte IX Región.
Proyecciones elaboradas por el consultor.

- Respecto a camiones pesados, se considera al año 2010 y 2015 la existencia de camiones del tipo Euro III, cuya entrada al país estaba restringida por la entrada en vigencia de combustibles con un contenido de azufre de 350ppm, características que ya entraron en funcionamiento a finales del año 2006, según antecedentes reportados por Enap.
- En cuanto a vehículos livianos a gasolina, se considera la entrada en vigencia de vehículos livianos con tecnología Euro III³⁶. También se considera mayor participación de vehículos livianos (sedan y station wagon) que utilizan diesel como combustible (entre un 3 y un 10

³⁶ Corresponden a vehículos catalíticos tipo 2 según la clasificación de los inventarios de emisiones nacionales.

% aprox. dependiendo si se trata de vehículo particular, de alquiler o taxi colectivo), lo cual incrementan las emisiones de material particulado respecto al 2005, en cuyo año la participación se consideró despreciable.

- Respecto a la generación del escenario de emisiones 2015, la proyección se efectuó proyectando el parque en circulación por categoría vehicular. Respecto a los vehículos livianos a gasolina, se mantuvo constante el parque de vehículos sin convertidor catalítico respecto al 2005 y se consideraron las tasas de crecimiento del resto de los vehículos, considerando el ingreso de vehículos nuevos a partir del año 2006 con tecnología Euro III (vehículos tipo 2).
- Los factores de emisión de vehículos livianos fueron corregidos mediante factores de deterioro representativos del parque proyectado al año 2010, utilizando la metodología descrita en la sección de factores de emisión del inventario 2005 del presente Informe.

La siguiente tabla entrega las emisiones proyectadas al 2010 y 2015 del sector transporte, estimadas mediante el modelo de emisiones MODEM II, utilizando como base los criterios y supuestos descritos anteriormente. Se presentan las emisiones por categoría vehicular principal, y en Anexos se entregan los reportes detallados por categoría tecnológica y por tipo de descarga.

Tabla 127. Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2010, Escenario Conservador.

	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃	COV		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
VEHÍCULOS PARTICULARES	3,34	3,07	8.126,50	838,30	4,98	11,80	665,48	64.738,36	22.891,04	238.687.002,52
VEHÍCULOS DE ALQUILER	0,63	0,58	669,47	60,35	0,81	1,84	41,54	7.935,49	2.774,01	30.511.983,73
VEHÍCULOS COMERCIALES	4,60	4,23	7.238,60	791,69	10,43	5,17	777,17	46.482,56	15.628,83	146.364.082,80
MOTOS	0,00	0,00	29,67	0,23	0,01	0,01	10,02	222,76	70,50	2.532.254,39
TAXIS COLECTIVOS	3,20	2,95	924,90	65,95	3,03	3,45	54,59	17.866,50	6.195,40	60.523.551,39
CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS	6,69	6,15	35,99	63,90	6,18	0,05	24,81	7.749,99	2.467,78	16.562.208,20
CAMIONES PESADOS	0,88	0,81	3,34	15,02	1,62	0,01	1,82	1.736,83	553,66	1.768.503,55
BUSES	33,58	30,90	184,14	608,48	38,49	0,13	81,46	48.289,51	15.395,45	44.178.388,16
TOTAL	52,92	48,69	17.212,61	2.443,92	65,55	22,46	1.656,89	195.022,00	65.976,67	541.127.974,74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 128. Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2010, Escenario Optimista.

	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃	COV		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
VEHÍCULOS PARTICULARES	3,34	3,07	8.126,50	838,30	4,98	11,80	665,48	64.738,36	22.891,04	238.687.002,52
VEHÍCULOS DE ALQUILER	0,63	0,58	669,47	60,35	0,81	1,84	41,54	7.935,49	2.774,01	30.511.983,73
VEHÍCULOS COMERCIALES	4,60	4,23	7.238,60	791,69	10,43	5,17	777,17	46.482,56	15.628,83	146.364.082,80
MOTOS	-	-	29,65	0,23	0,01	0,01	10,03	222,59	70,53	2.532.254,39
TAXIS COLECTIVOS	3,20	2,95	107,45	9,66	3,03	3,45	10,30	17.867,60	6.195,40	60.523.551,39
CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS	6,69	6,15	35,99	63,89	6,18	0,05	24,81	7.747,77	2.468,44	16.562.208,20
CAMIONES PESADOS	0,88	0,81	3,34	15,02	1,62	0,01	1,82	1.736,83	553,66	1.768.503,55
BUSES	24,15	22,22	147,73	521,46	43,38	0,13	75,34	54.434,89	17.353,27	44.178.388,16
TOTAL	43,49	40,01	16.358,73	2.300,60	70,44	22,46	1.606,49	201.166,09	67.935,18	541.127.974,74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 129. Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2015, Escenario Conservador.

	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃	COV		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
VEHÍCULOS PARTICULARES	4,46	4,10	10.070,38	1.077,44	6,45	15,46	711,80	78.157,21	27.588,55	291.199.468,54
VEHÍCULOS DE ALQUILER	1,69	1,55	520,41	49,75	1,60	2,11	27,11	9.340,21	3.237,86	37.226.852,17
VEHÍCULOS COMERCIALES	4,62	4,24	8.922,22	1.087,69	12,31	7,24	745,98	56.512,77	19.013,52	178.573.301,79
MOTOS	0,00	0,00	34,31	0,28	0,02	0,01	11,94	270,65	85,67	3.089.877,58
TAXIS COLECTIVOS	3,71	3,41	1.349,42	98,73	3,51	3,99	66,47	20.664,96	7.165,69	70.002.924,97
CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS	7,68	7,07	41,66	74,87	7,54	0,06	29,34	9.447,93	3.014,01	20.206.862,11
CAMIONES PESADOS	0,69	0,64	2,97	12,99	2,35	0,01	1,62	2.091,66	666,73	2.129.698,33
BUSES	18,55	17,06	18,55	466,83	46,84	0,13	71,76	58.770,03	18.734,47	44.178.388,16
TOTAL	41,39	38,07	20.959,92	2.868,58	80,62	29,01	1.666,02	235.255,42	79.506,50	646.607.373,65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 130. Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2015, Escenario Optimista.

	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃	COV		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
VEHÍCULOS PARTICULARES	4,46	4,10	10.070,38	1.077,44	6,45	15,46	711,80	78.157,21	27.588,55	291.199.468,54
VEHÍCULOS DE ALQUILER	1,69	1,55	520,41	49,75	1,60	2,11	27,11	9.340,21	3.237,86	37.226.852,17
VEHÍCULOS COMERCIALES	4,62	4,24	8.922,22	1.087,69	12,31	7,24	745,98	56.512,77	19.013,52	178.573.301,79
MOTOS	0,00	0,00	34,29	0,28	0,02	0,01	11,95	270,49	85,65	3.089.877,58
TAXIS COLECTIVOS	3,71	3,41	65,92	9,11	3,51	3,99	8,87	20.666,07	7.165,69	70.002.924,97
CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS	7,68	7,07	41,66	74,69	7,54	0,06	29,34	9.452,88	3.014,87	20.206.862,11
CAMIONES PESADOS	0,69	0,64	2,97	12,99	2,35	0,01	1,62	2.091,66	666,73	2.129.698,33
BUSES	17,01	15,65	17,01	440,98	49,83	0,13	71,00	62.531,39	19.933,16	44.178.388,16
TOTAL	39,86	36,66	19.674,86	2.752,93	83,61	29,01	1.607,67	239.022,68	80.706,03	646.607.373,65

Fuente: Elaboración propia

En relación a la evolución de las emisiones de MP10 correspondientes al escenario conservador, la figura siguiente señala el comportamiento esperado de las emisiones de este contaminante y la Tabla 131 los valores de emisiones para cada año en referencia.

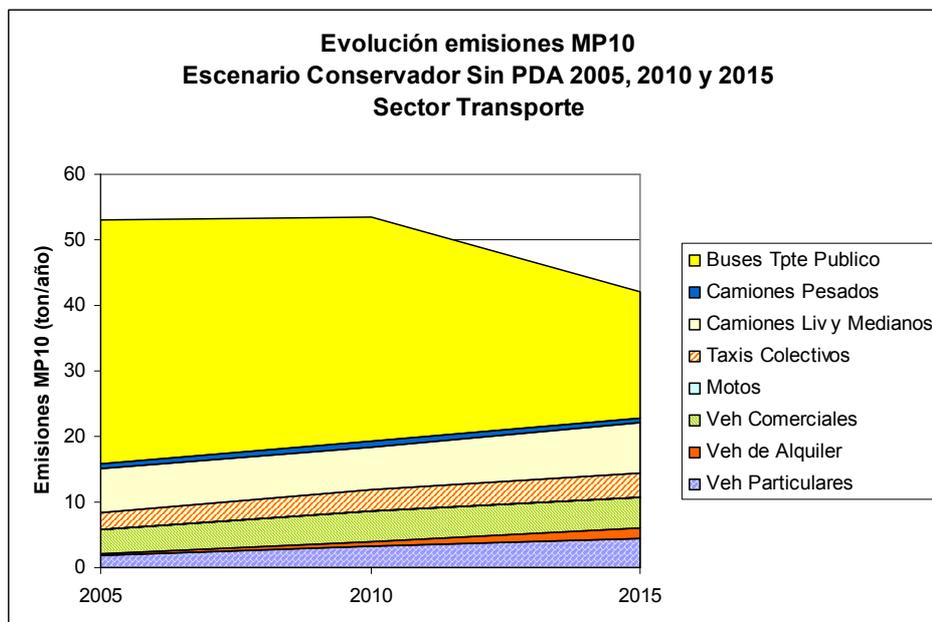


Figura 30. Emisiones MP10 escenario conservador, 2005, 2010 y 2015.

Tabla 131. Emisiones MP10 escenario conservador, 2005, 2010 y 2015 (ton/año)

CATEGORÍA VEHICULAR	MP10		
	2005	2010	2015
Veh. Particulares	1,89	3,34	4,46
Veh. de Alquiler	0,17	0,63	1,69
Veh. Comerciales	3,75	4,6	4,62
Motos	0,00	0,00	0,00
Taxis Colectivos	2,48	3,2	3,71
Camiones Liv. y Medianos	6,72	6,69	7,68
Camiones Pesados	0,78	0,88	0,69
Buses Tpte. Público	37,33	33,58	18,55
Total Fuentes Móviles	53,12	52,92	41,40

* Las emisiones corresponden a emisiones provenientes de la combustión del sistema de escape de gases. No incluye polvo resuspendido.

Se observa que las emisiones de buses urbanos en los escenarios 2010 y 2015 conservador disminuyen en un 10% y 50% respectivamente, respecto al escenario 2005, ésta se basa en la mejora tecnológica de los buses producto del retiro de buses de tecnología convencional por cumplir su vida útil, y el reemplazo por buses de tecnología Euro II, los cuales pasan de 16% en el año 2005 a 79% en el escenario 2015 conservador.

Las emisiones de MP10 de taxis colectivos se asocian fundamentalmente a vehículos a diesel, ya que las emisiones de vehículos bencineros se consideran prácticamente despreciables. Por lo tanto, el considerar un escenario que evalúe restricción en la circulación de taxis a diesel implicaría bajar prácticamente a cero las emisiones de MP10 (producto de la combustión) de la categoría taxis colectivos.

Respecto al **escenario optimista**, en donde la vida útil de los buses se reduce a 18 años, se estima que para el escenario 2010 las emisiones de MP10 bajarían un 35% respecto al escenario 2005, y al 2015 un 54%. En la gráfica siguiente se presentan los resultados estimados de evolución de MP10 para el sector transporte, en donde el incremento global entre el 2010 y 2015 se asocia al incremento en las emisiones del resto del transporte y no de buses urbanos.

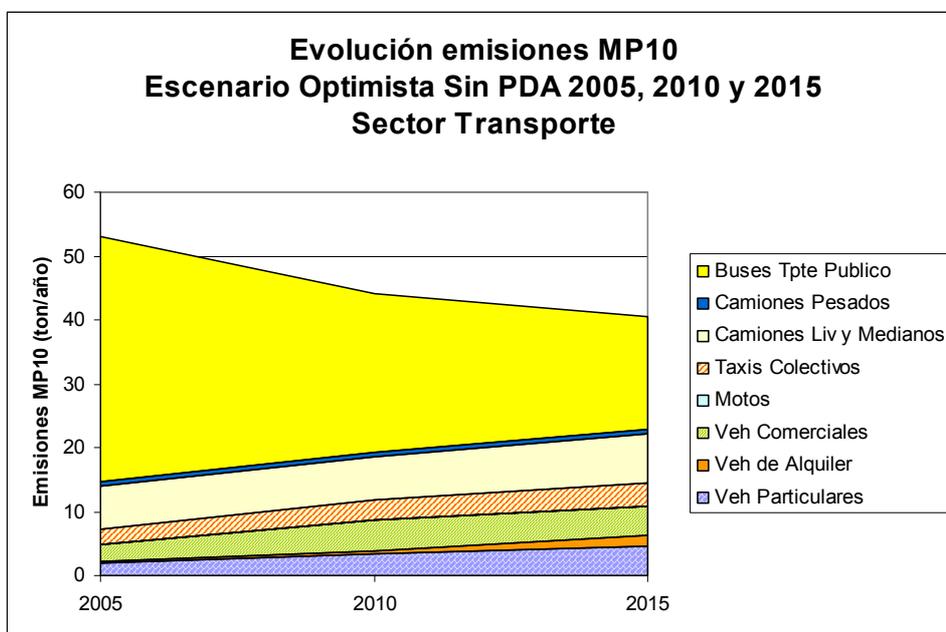


Figura 31. Emisiones MP10 escenario optimista, 2005, 2010 y 2015.

Emisiones con PDA

Las Tabla 132 y Tabla 133 entregan las emisiones estimadas para los escenarios 2005, 2010 y 2015 considerando la medida indicada en el PDA asociada al sector transporte, en donde se deberá implementar un programa destinado a que el sector transporte público no incremente las emisiones generadas al año 2007. Así, las tablas reportan un congelamiento de emisiones de buses y taxis colectivos estimadas para el año 2007, obtenidas mediante regresión lineal entre las emisiones generadas para el escenario 2005 y aquellas obtenidas para el año 2010.

La gráfica siguiente muestra la evolución en MP10 del sector transporte al considerar escenarios con PDA, es decir, manteniendo congeladas las emisiones 2007 para buses y taxis colectivos. Si bien las emisiones totales estimadas con PDA para el sector transporte no experimentan variaciones significativas, las diferencias se observan al estudiar la categoría buses y taxis colectivos en particular (en especial buses).

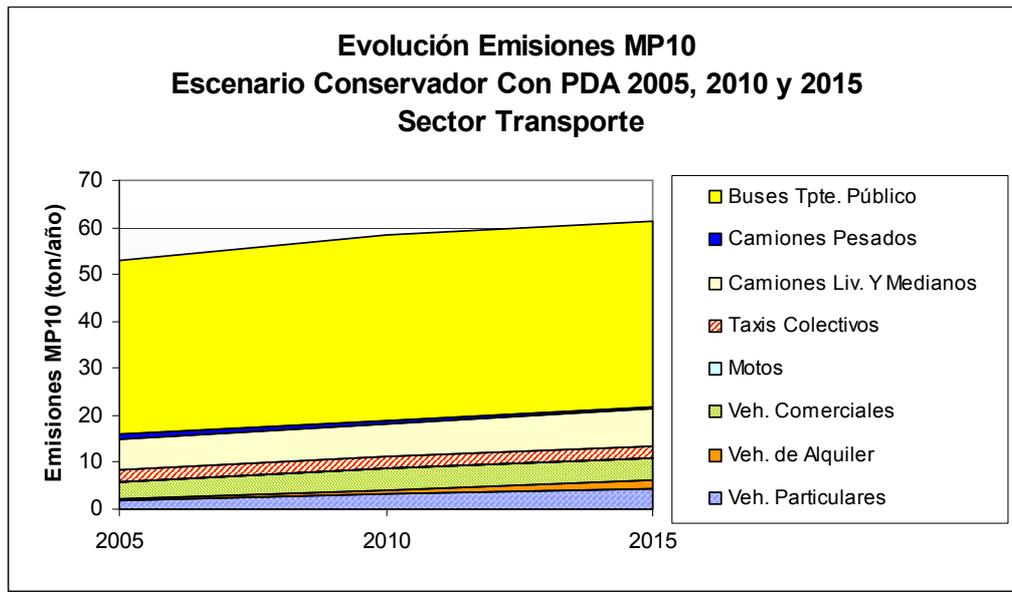


Tabla 132. Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2010, Con PDA.

	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃	COV		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
VEHÍCULOS PARTICULARES	3,34	3,07	8.126,50	838,30	4,98	11,80	665,48	64.738,36	22.891,04	238.687.002,52
VEHÍCULOS DE ALQUILER	0,63	0,58	669,47	60,35	0,81	1,84	41,54	7.935,49	2.774,01	30.511.983,73
VEHÍCULOS COMERCIALES	4,60	4,23	7.238,60	791,69	10,43	5,17	777,17	46.482,56	15.628,83	146.364.082,80
MOTOS	-	-	29,65	0,23	0,01	0,01	10,03	222,59	70,53	2.532.254,39
TAXIS COLECTIVOS	2,77	2,54	254,02	18,27	2,71	3,39	26,29	17.262,54	5.995,15	58.511.760,40
CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS	6,69	6,15	35,99	63,89	6,18	0,05	24,81	7.747,77	2.468,44	16.562.208,20
CAMIONES PESADOS	0,88	0,81	3,34	15,02	1,62	0,01	1,82	1.736,83	553,66	1.768.503,55
BUSES	32,06	29,49	173,88	572,35	34,96	0,12	75,34	43.863,37	13.984,47	41.034.267,80
TOTAL	50,97	46,87	16.531,45	2.360,10	61,70	22,39	1.622,48	189.989,51	64.366,13	535.972.063,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 133. Emisiones Totales de vehículos en ruta, en ton/año, TEMUCO-PADRE LAS CASAS, año 2015, Con PDA.

	Contaminantes Locales (ton/año)							Contaminantes Globales (ton CO ₂ eq)	Niveles de Actividad	
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	NOX	SO ₂	NH ₃	COV		Consumo de Combustible (ton /año)	Kilómetros Recorridos
VEHÍCULOS PARTICULARES	4,46	4,10	10.070,38	1.077,44	6,45	15,46	711,80	78.157,21	27.588,55	291.199.468,54
VEHÍCULOS DE ALQUILER	1,69	1,55	520,41	49,75	1,60	2,11	27,11	9.340,21	3.237,86	37.226.852,17
VEHÍCULOS COMERCIALES	4,62	4,24	8.922,22	1.087,69	12,31	7,24	745,98	56.512,77	19.013,52	178.573.301,79
MOTOS	-	-	34,29	0,28	0,02	0,01	11,95	270,49	85,65	3.089.877,58
TAXIS COLECTIVOS	2,77	2,54	254,02	18,27	2,71	3,39	26,29	17.262,54	5.995,15	58.511.760,40
CAMIONES LIVIANOS Y MEDIANOS	7,68	7,07	41,66	74,69	7,54	0,06	29,34	9.452,88	3.014,87	20.206.862,11
CAMIONES PESADOS	0,69	0,64	2,97	12,99	2,35	0,01	1,62	2.091,66	666,73	2.129.698,33
BUSES	32,06	29,49	173,88	572,35	34,96	0,12	75,34	43.863,37	13.984,47	41.034.267,80
TOTAL	53,97	49,63	20.019,83	2.893,46	67,94	28,40	1.629,43	216.951,13	73.586,80	631.972.088,73

Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados presentados en las tablas Tabla 132 y Tabla 133 se concluye que el escenario 2015 con PDA, es decir, en donde se mantienen constantes las emisiones estimadas para el año 2007 del sector transporte, no favorece a reducir las emisiones del sector, aun comparando con el escenario conservador. La siguiente figura muestra las emisiones de MP10 que se obtendrían para el sector buses de transporte público para distintos escenarios.

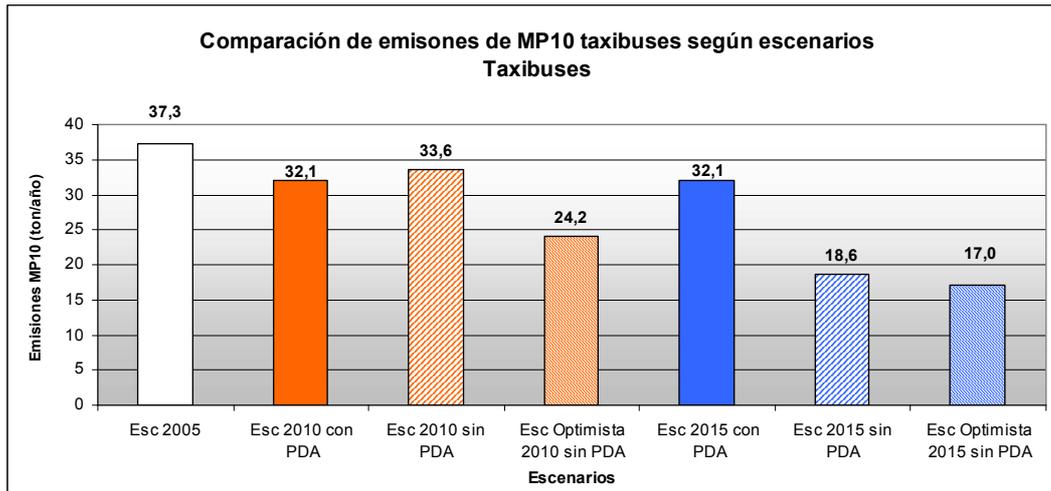


Figura 32. Comparación de emisiones de MP10 según escenarios, sector buses transporte público.

4.2.2 Fuentes móviles fuera de Ruta

4.2.2.1 Maquinaria agrícola

El cálculo de las proyecciones para esta fuente, se hizo considerando los datos obtenidos del INE entre los años 2001 y 2005. A partir de estos y mediante regresión lineal se proyectaron los valores. Se consideró la participación porcentual del 2005, para la distribución a los años 2010 y 2015.

Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 134. Distribución de tractores agrícolas por comunas

Comuna	N° de Tractores		
	2005	2010	2015
Temuco	60	56	54
Padre Las Casas	32	30	29
Total	92	86	83

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones se calcularon utilizando la metodología descrita dentro de los cálculos de emisiones 2005. Las siguientes tablas entregan las emisiones proyectadas para los años 2010 y 2015.

Tabla 135. Total emisiones tractores agrícolas. Año 2005

Comuna	N° Tractores	MP10	MP 2,5	CO	NOx	HC	MP
Temuco	60	3,09	2,84	16,11	17,09	2,77	3,09
Padre Las Casas	32	1,65	1,52	8,59	9,11	1,48	1,65
Total	92	4,74	4,36	24,70	26,20	4,25	4,74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 136. Total emisiones tractores agrícolas. Año 2010

Comuna	N° Tractores	MP10	MP 2,5	CO	NOx	HC	MP
Temuco	56	2,91	2,67	15,15	16,07	2,61	2,91
Padre Las Casas	30	1,55	1,43	8,08	8,57	1,39	1,55
Total	86	4,46	4,10	23,23	24,64	4,00	4,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 137. Total emisiones tractores agrícolas. Año 2015

Comuna	N° Tractores	MP10	MP 2,5	CO	NOx	HC	MP
Temuco	54	3,09	2,84	14,51	17,09	2,50	3,09
Padre Las Casas	29	1,65	1,52	7,74	9,11	1,33	1,65
Total	83	4,74	4,36	22,25	26,20	3,83	4,74

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2 Maquinaria de la construcción

Como se explicó anteriormente, el nivel de actividad para este tipo de fuente se asocia al número de horas promedio de funcionamiento de cada una de las maquinarias utilizadas en obras de edificación, en función de los metros cuadrados de emplazamiento. De acuerdo a esto se utilizaron los datos proyectados asociados a la edificación para las comunas en estudio. Las tablas siguientes entregan las emisiones proyectadas para los años 2010 y 2015.

4.2.2.3 Emisiones de maquinaria de la construcción

Tabla 138. Total emisiones maquinaria de construcción. Año 2005 (Ton/año)

Comuna	PM 10	PM 2,5	CO	NOx	HC
Temuco	0,83	0,81	3,87	9,76	0,74
Padre las Casas	0,04	0,04	0,24	0,32	0,03
Total	0,87	0,85	4,11	10,08	0,77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 139. Total emisiones maquinaria de construcción. Año 2010 (Ton/año)

Comuna	PM 10	PM 2,5	CO	NOx	HC
Temuco	1,13	1,09	5,17	13,39	1,00
Padre las Casas	0,06	0,05	0,33	0,44	0,05
Total	1,18	1,15	5,50	13,82	1,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 140. Total emisiones maquinaria de construcción. Año 2015 (Ton/año)

Comuna	PM 10	PM 2,5	CO	NOx	HC
Temuco	0,51	0,50	2,76	4,77	0,43
Padre las Casas	0,05	0,05	0,30	0,40	0,04
Total	0,56	0,55	3,06	5,18	0,47

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Quemas Agrícolas

Para quemas agrícolas se consideraron dos escenarios:

- **Con Medida PDA:** En este escenario se encuentra implementada la medida de prohibición de quemas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre. Se consideró que estas quemas se realizarían dentro de los meses contiguos en los cuales está permitido quemar, es decir, la superficie quemada en los meses de abril y mayo se adelantaría al mes de marzo y lo consumido en junio, julio, agosto y septiembre se prorrogaría a octubre. Cabe destacar que las hectáreas quemadas entre los meses de mayo a agosto representan un aporte muy menor al total de quemas según las estadísticas entregadas por CONAF IX (ver Figura 33).

- **Sin Medida:** En este escenario se considera que existe un porcentaje de quemas que se efectúa durante el periodo de prohibición, y no cero como en el escenario con medida. Es decir, considera la situación que ocurriría sin implementar la medida de prohibición.

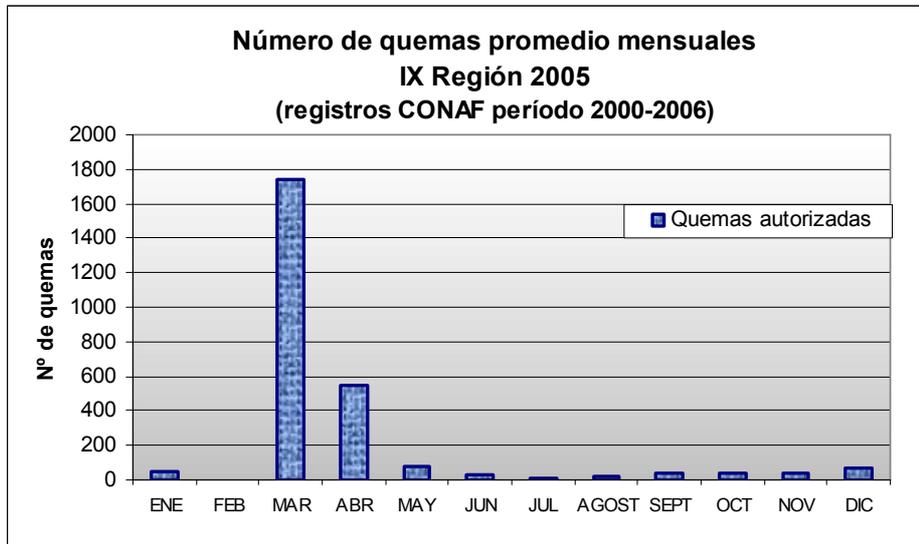


Figura 33. Evolución de la superficie agrícola quemada, período 2001-2006

Cabe destacar que el total de hectáreas quemadas en ambos escenarios no varía, sino que solo cambia su ubicación temporal.

La siguiente tabla presenta las superficies proyectadas de quemas agrícolas, para los años considerados.

Tabla 141. Superficie consumida escenarios 2005, 2010 y 2015, (ha)

Año	Superficie consumida (ha)	
	Escenarios Sin Medida y Con Medida	
	Temuco	Padre las Casas
2005	2.180	1.155
2010	2.182	1.156
2015	2.270	1.203

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presentan las emisiones resultantes para los años considerados.

Tabla 142. Emisiones quemas agrícolas, escenario 2010

COMUNA	Emisiones (ton/año)					
	PM10	PM2,5	NOx	SO2	VOC	CO
P. LAS CASAS	31,37	29,90	4,93	2,13	21,57	332,46
TEMUCO	59,21	56,44	9,31	4,02	40,71	627,59
TOTAL	90,57	86,34	14,24	6,16	62,28	960,06

Fuente : Elaboración propia

Al aplicar las medidas en el escenario optimista las emisiones anuales se mantienen iguales respecto al escenario conservador, pero se redistribuyen durante el año, concentrándose en los meses de Marzo y Octubre, como se muestra en la **Figura 35** y **Figura 37**, para los distintos años proyectados.

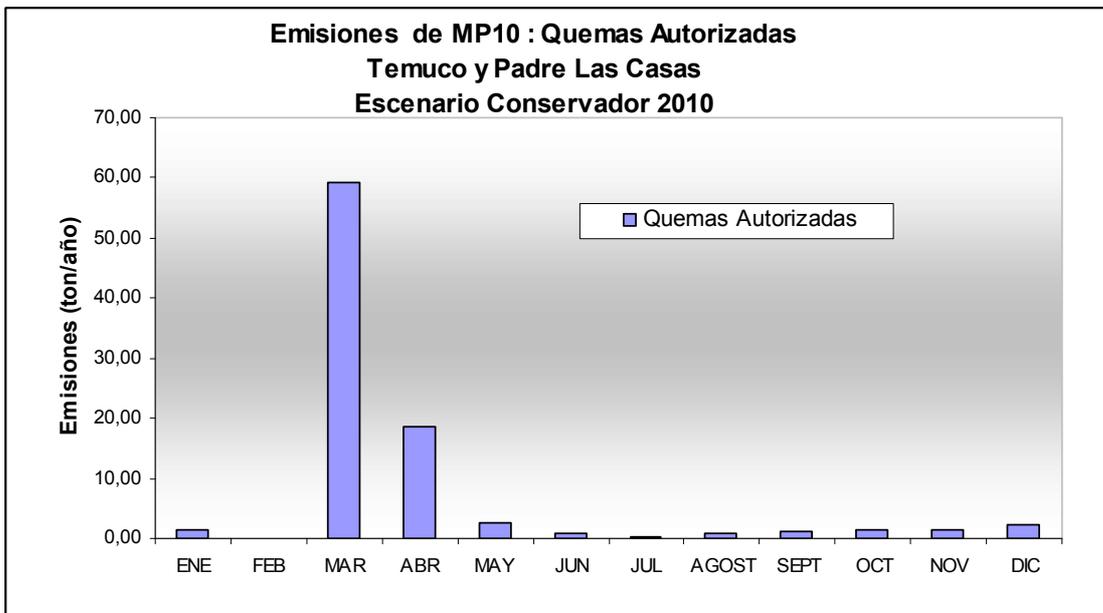


Figura 34. Emisiones MP10 provenientes de quemas agrícolas, Escenario Conservador, 2010.

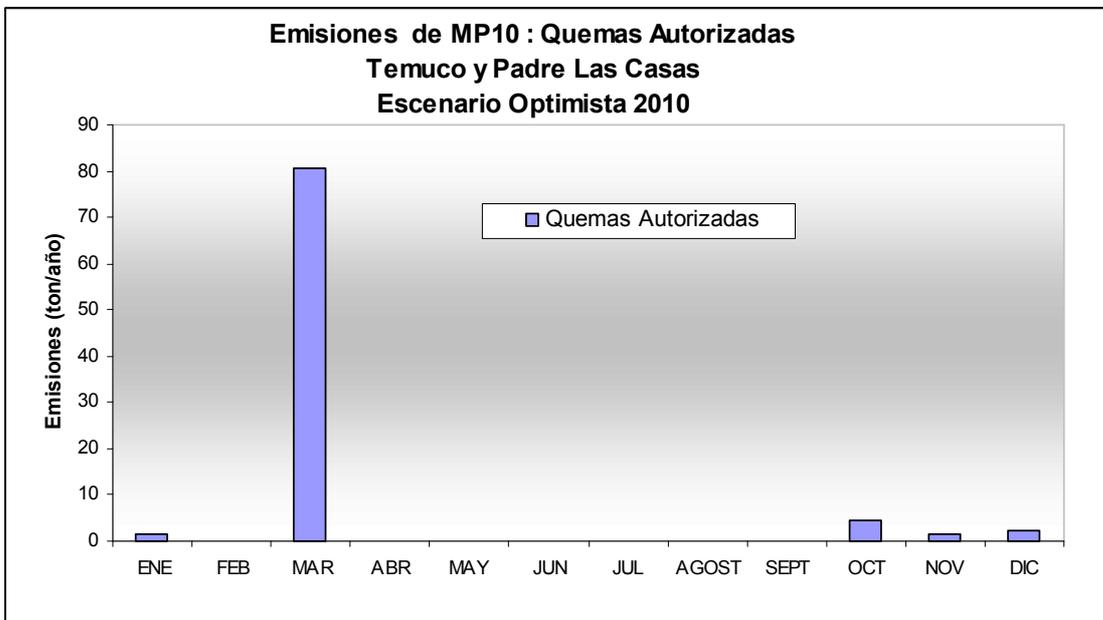


Figura 35. Emisiones MP10 provenientes de quemas agrícolas, Escenario Optimista, 2010.

Tabla 143. Emisiones quemas agrícolas, escenario 2015.

COMUNA	Emisiones (ton/año)					
	PM10	PM2,5	NOx	SO2	VOC	CO
P. LAS CASAS	32,63	31,11	5,13	2,22	22,44	345,91
TEMUCO	61,60	58,72	9,69	4,19	42,36	652,97
TOTAL	94,24	89,83	14,82	6,41	64,79	998,87

Fuente: Elaboración propia

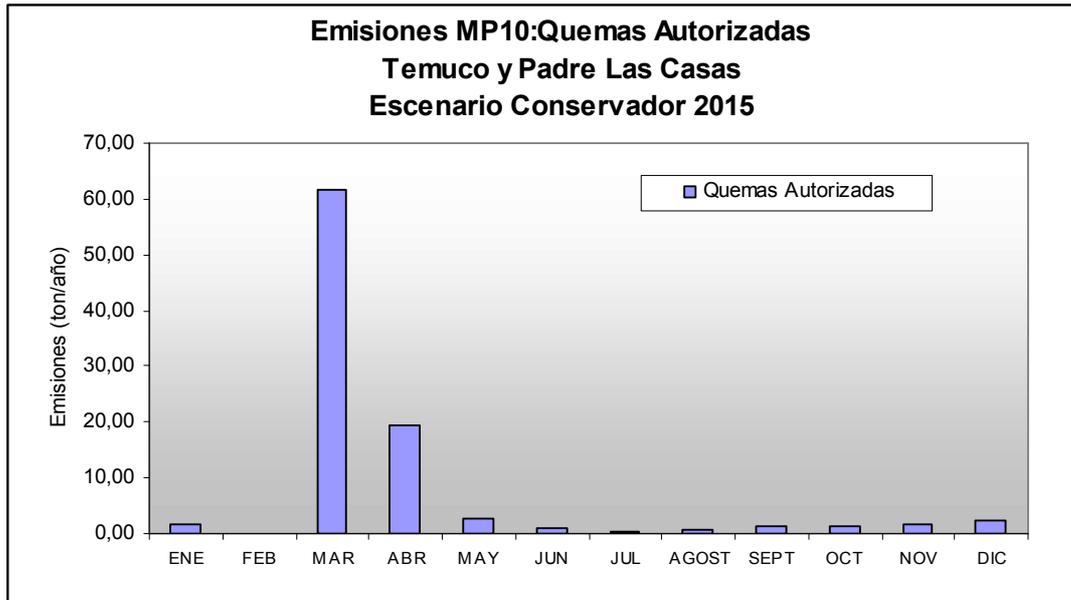


Figura 36. Emisiones MP10 provenientes de quemias agrícolas, Escenario Conservador, 2015.

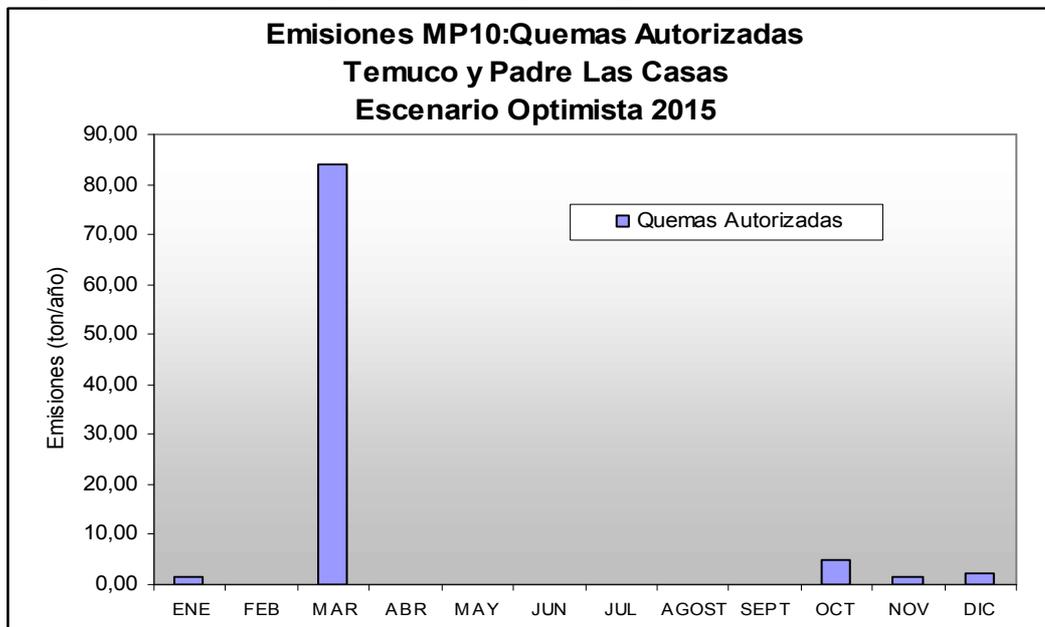


Figura 37. Emisiones MP10 provenientes de quemias agrícolas, Escenario Optimista, 2015.

4.2.4 Incendios Forestales

Para esta fuente la proyección se realizó considerando el promedio de datos de los últimos cinco años, reportados por CONAF para incendios forestales. Esto debido a que los valores de incendios forestales no muestran una tendencia en el tiempo o un patrón de comportamiento regular, ya que los incendios dependen de parámetros que son variables en el tiempo. Se suponen los mismos valores para la proyección al 2015.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 144. Hectáreas consumidas por incendios forestales, escenario 2010.

COMUNAS	PINO	EUCALIPTUS	OTRAS PLANTACIONES	BOSQUE NATIVO	MATORRAL	PASTIZAL
P. LAS CASAS	0,55	0,80	0,00	0,00	9,76	5,99
TEMUCO	2,66	8,44	0,13	0,14	46,77	21,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 145. Emisiones PADRE LAS CASAS (ton/año), 2010

Especie	Emisiones PADRE LAS CASAS (ton/año)							
	PM10	PM25	CO	CH4	COV	NH3	NOX	SO2
Pino	0,21	0,18	1,96	0,08	0,14	0,02	0,07	0,02
Eucaliptus	0,56	0,48	5,05	0,20	0,35	0,05	0,24	0,07
Otras plantaciones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bosque nativo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Matorral	2,43	2,06	24,11	0,97	1,68	0,24	0,72	0,22
Pastizal	0,16	0,16	1,16	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
Total	3,36	2,87	32,29	1,25	2,17	0,31	1,07	0,32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 146. Emisiones TEMUCO (ton/año), 2010

Especie	Emisiones TEMUCO (ton/año)							
	PM10	PM25	CO	CH4	COV	NH3	NOX	SO2
Pino	3,01	2,55	28,88	1,15	2,02	0,29	1,03	0,31
Eucaliptus	8,55	7,25	82,66	3,30	5,78	0,84	2,84	0,86
Otras plantaciones	0,14	0,12	1,35	0,05	0,09	0,01	0,05	0,01
Bosque nativo	0,39	0,33	3,72	0,15	0,26	0,04	0,13	0,04
Matorral	11,64	9,88	115,53	4,64	8,07	1,16	3,43	1,07
Pastizal	0,58	0,56	4,18	0,00	0,00	0,00	0,16	0,02
Total	24,31	20,68	236,32	9,29	16,22	2,35	7,65	2,32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 147. Emisiones incendios forestales, Temuco y Padre Las Casas, todas las especies, 2010.

Emisiones (ton/año)							
PM10	PM25	CO	CH4	COV	NH3	NOX	SO2
27,67	23,54	268,62	10,53	18,40	2,66	8,72	2,65

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones del escenario 2015, por ende, se consideran iguales a la proyección 2010.

Tabla 148. Emisiones incendios forestales, Temuco y Padre Las Casas, todas las especies, 2005.

Emisiones (ton/año)							
PM10	PM25	CO	CH4	COV	NH3	NOX	SO2
30,92	26,30	299,83	11,78	20,58	2,98	9,83	2,98

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los valores obtenidos para los años 2005 y 2010 es posible notar que hay una disminución de las emisiones de un 11% aproximadamente.

4.2.5 Otras fuentes Areales

4.2.5.1 Combustión residencial de GLP, Kerosene, y Gas Propano

Para esta fuente la proyección se realizó en base a datos históricos reportados en el Anuario Informe Estadístico 2000-2006 entregado por la SEC. Al igual que para el escenario 2005, el consumo de gas propano aire se encuentra incorporado dentro del consumo de GLP. Los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla 149: Consumo Residencial de Combustibles 2010-2015

Combustible	Consumo (ton/año)			
	Año	2005	2010	2015
GLP	Padre Las Casas	6555,79	7400,21	7729,61
	Temuco	1582,32	1788,06	1873,74
Kerosene	Padre Las Casas	799,39	646,73	575,52
	Temuco	192,88	156,26	163,75

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del Kerosene, el consumo de este combustible a nivel residencial en la región, según los reportes de la SEC, disminuye cada año, y, por lo tanto, al proyectar los consumos a nivel usuarios y canal minorista se obtienen valores negativos; es por esto que para el año 2010 y 2015 se trabajó con los últimos valores reportados que corresponden al 2006 considerándolo como cota inferior.

Las emisiones proyectadas para los años 2010 y 2015 se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 150: Emisión de Contaminantes asociados a la combustión residencial en 2010

Combustible	Comuna	MP10	MP 2,5	CO	NOx	VOC	SOx	NH3
GLP	TEMUCO	0,4392	0,4392	2,9009	14,2824	1,1448	0,0106	0,0280
	P. LAS CASAS	0,1061	0,1061	0,7009	3,4510	0,2766	0,0026	0,0068
Kerosene	TEMUCO	0,0002	0,0002	0,0004	0,0016	0,0002	0,0026	0,0001
	P. LAS CASAS	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0001	0,0006	0,0000
TOTAL		0,5456	0,5456	3,6022	17,7351	1,4217	0,0161	0,0347

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Se le incorporaron 4 decimales a kerosene para visualizar los valores pequeños.

Tabla 151: Emisión de Contaminantes asociados a la combustión residencial 2015

Combustible	Comuna	PM10	PM 2,5	CO	NOx	VOC	SOx	NH3
GLP	TEMUCO	0,4588	0,4588	3,0300	14,9182	1,1958	0,0111	0,0292
	P. LAS CASAS	0,1112	0,1112	0,7345	3,6163	0,2899	0,0027	0,0071
Kerosene	TEMUCO	0,0002	0,0002	0,0004	0,0016	0,0002	0,0000	0,0000
	P. LAS CASAS	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000
TOTAL		0,5703	0,5703	3,7645	18,5346	1,4861	0,0137	0,0363

Fuente: Elaboración Propia

Las figuras siguientes entregan la comparación de emisiones del escenario 2005 base y las proyecciones de emisiones estimadas para los años 2010 y 2015, para Temuco y Padre Las Casas.

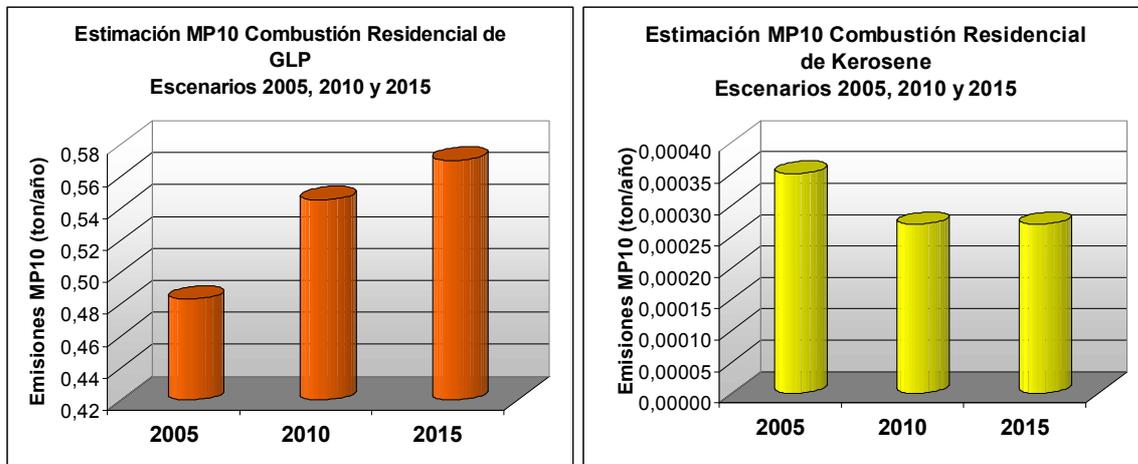


Figura 38. Comparación de Emisiones de GLP y kerosene, escenarios 2005, y proyecciones 2010 y 2015.

4.2.5.2 Combustión residencial de Leña

Proyecciones 2010-2015

En la proyección 2010 y 2015 se evaluaron dos escenarios, uno “Actual” y otro “PDA”, estos escenarios se describen a continuación:

a) Escenario actual

Este escenario considera que:

- La demanda de leña crece según la tendencia de crecimiento de la población.
- El aumento del consumo se debe a la entrada de artefactos calefactores que cumplen la norma de emisión que comenzaría a regir desde el año 2009.

- Los modos de operación y humedades de la leña se mantienen constantes en sus participaciones.

Las siguientes tablas muestran la proyección de población, consumo de leña y las emisiones totales para el año 2010 y 2015 en el escenario actual.

Tabla 152. Proyección de población para las comunas de Temuco y Padre las Casas.

Comuna	2005	2007	2010	2015
Temuco	276.883	287.740	304.026	330.624
Padre Las Casas	66.809	69.469	73.460	80.147

Fuente: Elaboración propia

Tabla 153. Consumo de leña (m3 estéreo/año) proyectados

	Temuco	Padre Las Casas
Consumo 2005	503.952	60.875
Consumo 2010	553.355	66.935
Consumo 2015	601.765	73.028

Fuente: Elaboración propia

Tabla 154. Emisiones totales combustión residencial de leña (Ton/año), escenario 2010 actual

	Temuco	Padre Las Casas	TOTAL
MP	5.269,51	669,15	5.938,66
MP10	5.048,19	641,05	5.689,23
MP2,5	4.905,91	622,98	5.528,89
CO	55.512,22	6.853,87	62.366,08
NOX	334,93	39,77	374,69
COV	31.926,12	5.074,65	37.000,77
SOX	44,62	5,40	50,02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 155. Emisiones totales combustión residencial de leña (Ton/año), escenario 2015 actual

	Temuco	Padre Las Casas	TOTAL
MP	5.327,50	676,57	6.004,07
MP10	5.103,74	648,15	5.751,90
MP2,5	4.959,90	629,89	5.589,79
CO	60.173,60	7.094,73	67.268,33
NOX	365,29	43,59	408,88
COV	32.996,54	5.209,38	38.205,92
SOX	48,53	5,89	54,42

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura permite comparar las emisiones provenientes de la evaluación del escenario actual (2010-2015) y el año base 2005.

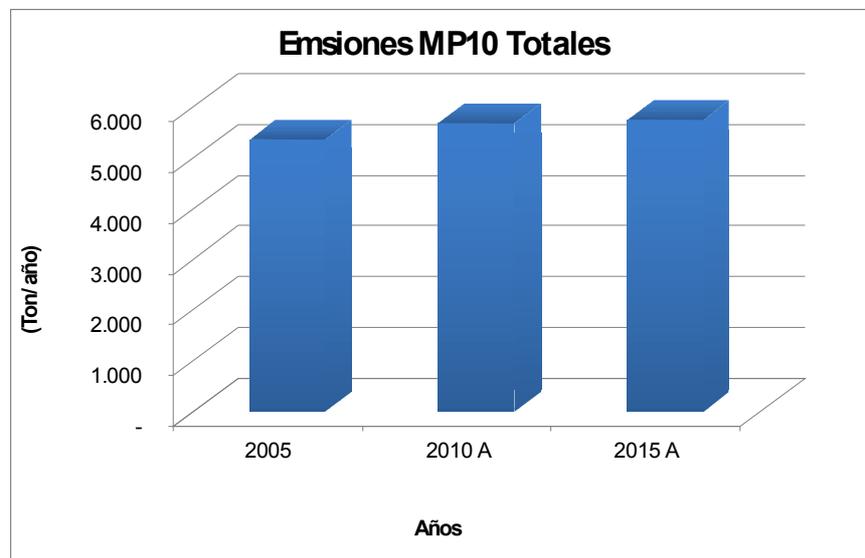


Figura 39: Emisiones de MP10 año base 2005, escenarios 2010 actual y 2015 actual.

Al comparar las emisiones entre los escenarios 2005, 2010 actual y 2015 actual se aprecia un aumento en las emisiones, principalmente explicado por el aumento del consumo debido al aumento de la población, considerando que los artefactos que ingresan son calefactores que cumplen con la normativa de emisión.

b) Escenario PDA

El escenario PDA considera implementadas las medidas descritas en el PDA para combustión residencial con leña. A continuación se listan estas medidas y los supuestos considerados para la estimación de escenarios.

1. Recambio de 12.000 calefactores en 10 años: se considero un recambio de 1.200 calefactores por cada año, donde ingresan calefactores doble cámara.

Para la evaluación de esta medida se considero que los aparatos a cambiar serian prioritariamente las salamandras, debido a que no poseen una tecnología que permita obtener bajas emisiones y por tanto sus emisiones son mayores a los de otros calefactores como calefactores de combustión lenta con y sin doble cámara, y modelos insert.

Los siguientes cuadros detallan el número y tipo de artefactos reemplazados por calefactores que cumplen la norma de emisión en los escenarios 2010 y 2015 evaluados.

Tabla 156. Artefactos reemplazados escenario 2010 PDA

Artefacto	Escenario 2010		Total
	Temuco	PLC	
Salamandra	2.770	830	3.600
Total	2.770	830	3.600

Tabla 157. Artefactos reemplazados escenario 2015 PDA

Artefacto	Temuco		Total
	Temuco	PLC	
Salamandra	5.403	1.619	7.022
Insert	70	0	70
Cob lenta sin templador	2.150	358	2.508
Total	7.623	1.977	9.600

Según la estimación realizada a partir de la encuesta, existen 7.022 salamandras en la zona de estudio, por lo tanto es posible realizar el reemplazo de una parte de ellos en el periodo 2008-2010 y el resto durante el periodo 2011-2015. En el escenario 2015 debieran existir 9600 artefactos reemplazados, para cumplir con este número se consideraron los calefactores Insert y Calefactores de Combustión lenta sin templador.

2. Prohibición del uso de chimeneas abiertas para calefacción.

Se consideró el recambio del total de este tipo de artefactos por calefactores doble cámara para los escenarios evaluados.

3. Mejoramiento térmico de las viviendas existentes y certificación de las nuevas viviendas: Se considero el escenario presentado en el estudio AGIES, se realiza la mejora de 1.000 viviendas al año, lo que reduciría en un 35% el consumo de leña.

Se considero una reducción de un 35% en el consumo de leña en 3.000 hogares para el escenario 2010 y de 8.000 hogares para el escenario 2015. Los hogares afectados por esta medida serian de clase socioeconómica baja.

4. Humedad de la leña comercializada de un 25% (20% en base húmeda) en base seca: Se considero el escenario presentado en el estudio AGIES, donde se cree que un 80% de la leña comercializada cumplirá con esta exigencia, y el 20% de la leña restante se considerara dentro del rango de humedad de 21% a 30% en base húmeda.

Además de la implementación de las medidas PDA antes mencionadas, se considerara que la población realiza una correcta operación de los artefactos, es decir: no cierra el paso de aire.

La siguiente tabla presenta los consumos de leña proyectados, considerando las medidas del PDA.

Tabla 158. Consumo de leña (m3 estéreo/año) proyectados

	Temuco	Padre Las Casas
Consumo 2005(*)	503.952	60.875
Consumo 2010	542.354	74.231
Consumo 2015	579.136	90.767

(*) Escenario base

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes tablas detallan las emisiones estimadas para los escenarios 2010 PDA y 2015 PDA.

Tabla 159. Emisiones totales combustión residencial de leña (Ton/año), escenario 2010 PDA.

	Padre Las Casas	Temuco	TOTAL
MP	591,23	4.538,11	5.129,34
MP10	566,40	4.347,51	4.913,91
MP2,5	550,43	4.224,98	4.775,42
CO	5.802,45	41.909,91	47.712,35
NOX	44,67	329,46	374,12
COV	3.650,64	22.760,87	26.411,51
SOX	5,99	43,74	49,72

Tabla 160. Emisiones totales combustión residencial de leña (Ton/año), escenario 2015 PDA.

	Padre Las Casas	Temuco	TOTAL
MP	526,53	4.162,37	4.688,90
MP10	504,41	3.987,55	4.491,96
MP2,5	490,20	3.875,17	4.365,36
CO	5.793,35	40.666,34	46.459,69
NOX	55,32	323,77	379,09
COV	3.579,45	20.996,69	24.576,14
SOX	7,32	42,84	50,16

La siguiente figura permite comparar las emisiones provenientes de la evaluación del escenario PDA (2010-2015) y el año base 2005 para MP10.

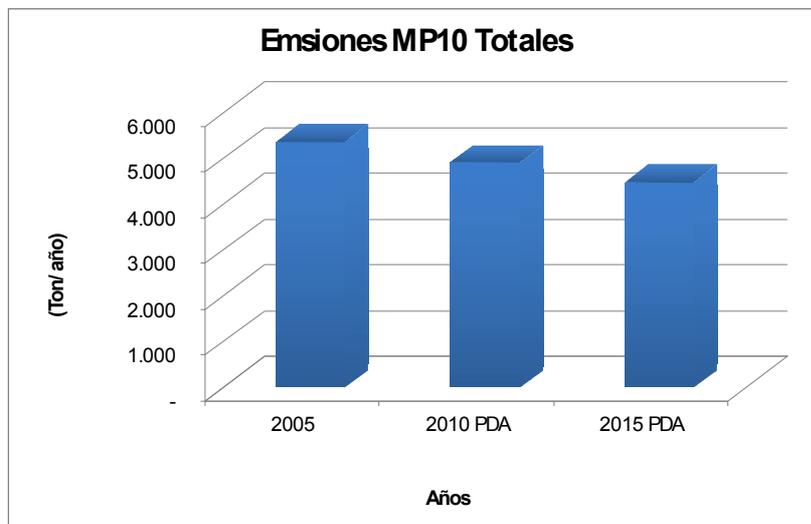


Figura 40: Emisiones de MP10 año base 2005, escenarios 2010 PDA y 2015 PDA.

Al comparar el escenario base 2005 con los escenarios PDA proyectados 2010 y 2015 se observa una disminución en las emisiones de MP10, esto explicado por las medidas del PDA consideradas.

Al comparar los escenarios 2010 PDA y 2015 PDA se observa una baja en las emisiones totales de MP, esto se explica básicamente por el recambio de artefactos, ya que si bien existiría un aumento de consumo por el aumento de la población, este se vería amortiguado por los nuevos artefactos con menores tasas de emisión.

La siguiente figura permite comparar las emisiones provenientes de la evaluación de los escenarios actual y PDA con el año base 2005.

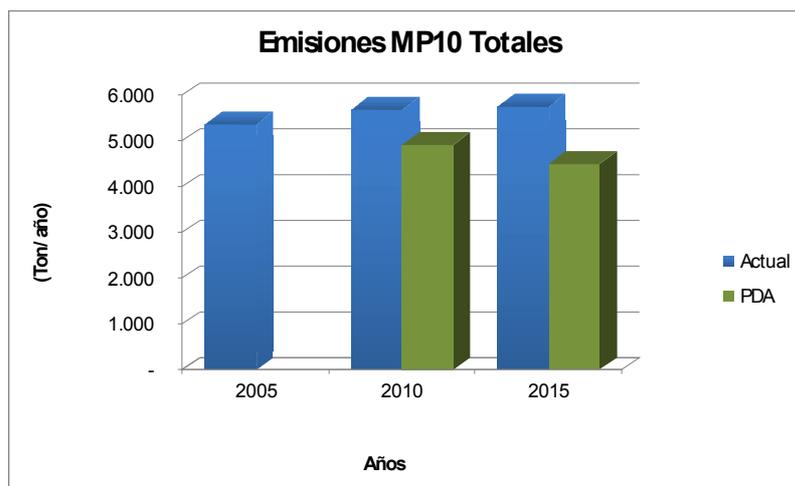


Figura 41. Emisiones de MP10 año base 2005, escenarios 2010-2015 actual y 2010-2015 PDA.

Al comparar los escenarios Actual y PDA, se ve una clara baja en las emisiones, esto debido principalmente a dos factores:

Norma de humedad de la leña. En el escenario *Actual* el porcentaje de población que se considero utilizando leña con humedad de hasta un 20% es de un 61%, y en el rango 21%-30% es de un 39% (humedad en base humedad), según resultados de la encuesta realizada, esta participación se conservo en los escenarios 2010 y 2015 actuales.

En el escenario *PDA* el porcentaje de población que utiliza leña de hasta un 20% de humedad es de un 80% y el resto utilizaría leña con humedad en el rango 21%-30%. Las emisiones dependen fuertemente del porcentaje de humedad de la leña, por lo tanto la utilización de leña con menor contenido de humedad tiene una incidencia apreciable en las emisiones finales.

Recambio de artefactos. El recambio de artefactos tiene un gran impacto en forma unitaria, es decir el cambiar una salamandra por un calefactor que cumpla la nueva normativa implica una gran disminución en las emisiones, esto debido a que las emisiones de este último artefacto son muy inferiores a las emisiones de una salamandra. Un efecto similar es el que ocurre con los calefactores Insert y de combustión lenta sin templador, los cuales unitariamente generan mayores emisiones que un calefactor que cumple la nueva normativa. El recambio de 9.600 artefactos al año 2015 implica la renovación de aproximadamente el 18% de los aparatos que no poseían templador al año 2007.

Es importante resaltar la alta participación de las cocinas a leña en el total de artefactos a leña, para el año 2007 consumían el 43% del total de leña de uso residencial en la zona de estudio, además debido a sus características generan mayores emisiones que los calefactores tradicionales y los nuevos calefactores que cumplirían con la nueva normativa. Esto hace necesario considerar este tipo de artefactos en futuras medidas de control para las emisiones producto de la combustión residencial de leña.

Además, es muy importante el poseer estudios y mediciones representativos del parque de artefactos existentes, para contar con factores de emisión representativos de la tecnología y tipo de operación. Otro factor fundamental es conocer la humedad real de la leña al momento de ser consumida por los usuarios finales, pues este último factor aparece como determinante en las emisiones generadas.

Resultados periodo Abril – Septiembre

El periodo de mayor complejidad en cuanto a episodios de contaminación ocurren entre los meses de abril y septiembre, por tanto a continuación se reportan las emisiones producto de la combustión residencial de leña para este periodo.

Las siguientes figuras muestran las emisiones mensuales estimadas a partir de los resultados de la encuesta aplicada en la zona de estudio, para los escenarios 2010 y 2015, escenarios actual y con PDA.

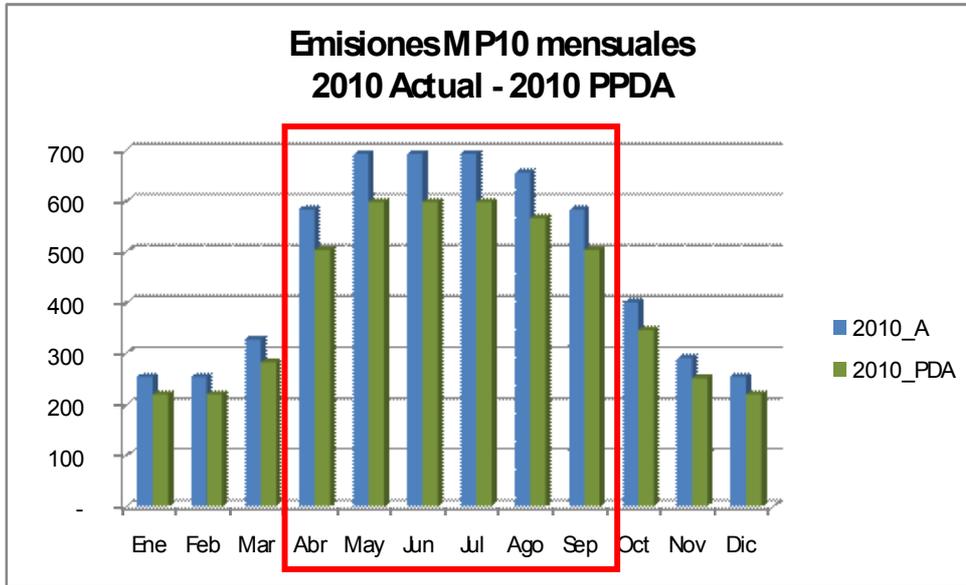


Figura 42. Emisiones mensuales de Mp10 para escenarios 2010 actual y 2010 PDA.

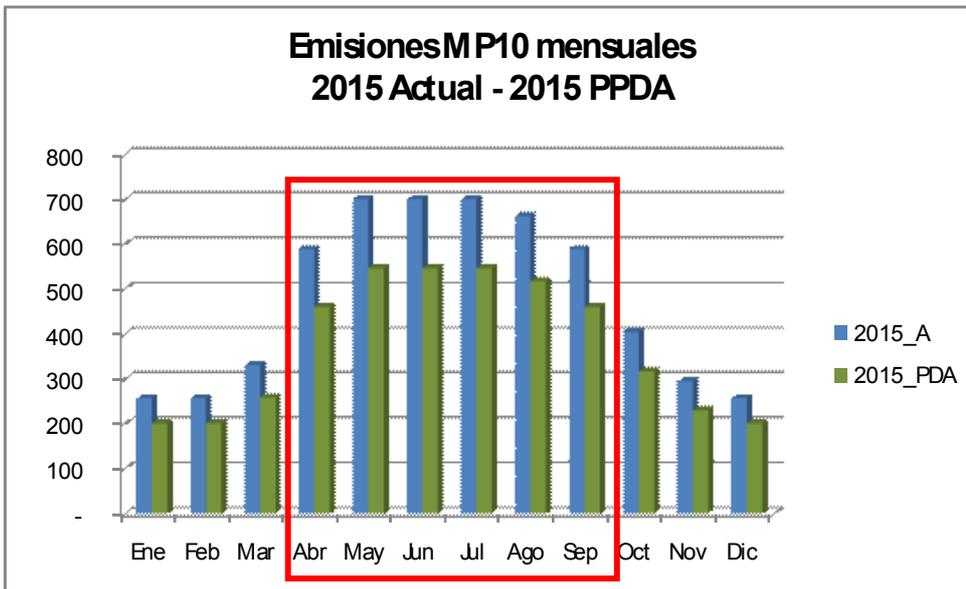


Figura 43. Emisiones mensuales de Mp10 para escenarios 2015 actual y 2015 PDA.

Para el escenario 2010, las reducciones en el periodo abril – septiembre llegan a 531 (ton/año), esto representa un 14% de reducción en las emisiones del periodo.

Para el escenario 2015, las reducciones en el periodo abril – septiembre llegan a 864 (ton/año), esto representa un 22% de reducción en las emisiones del periodo.

Cigarrillos

Para el cálculo del consumo de cigarrillos al 2010 y 2015 se consideraron los antecedentes proporcionados por:

- Séptimo Estudio Nacional de Drogas en Población General en Chile, 2006, Ministerio del Interior, CONACE, Chile, donde se reportan porcentajes de consumo para la población en general y por tramos de edades a nivel nacional
- Las metas propuestas en el sector Salud para el 2010 después de la modificación de la Ley 19.419, que consideran lo siguiente: Disminuir la prevalencia de fumadores en población general de 40% a 30%; Disminuir la prevalencia de fumadores entre escolares de 8 básico de 27% a 20%; Disminuir la prevalencia en mujeres en edad fértil de 45% a 40%.

Se espera que la disminución bordee el 10% para la población en general. De acuerdo a esto, las proyecciones al 2010 y 2015 del consumo de cigarrillos queda estimada con los siguientes valores.

Tabla 161. Consumo de cigarrillos, Temuco y Padre Las Casas

Año	Consumo IX (cig/año)
2010	11.651.116
2015	10.534.729

Fuente: Elaboración propia en base a datos Séptimo Estudio nacional de Drogas en población general en Chile, 2006 Ministerio del Interior, CONACE, Chile y Metas sector Salud para el año 2010.

Las emisiones proyectadas se reportan en la siguiente tabla.

Tabla 162. Emisiones provenientes de consumo de cigarrillos

Año	Emisión MP [ton/año]	Emisión NH ₃ [ton/año]
2005	0,10	0,07
2010	0,09	0,06
2015	0,08	0,05

Fuente: Elaboración propia

La figura siguiente entrega la proyección gráfica de emisiones.

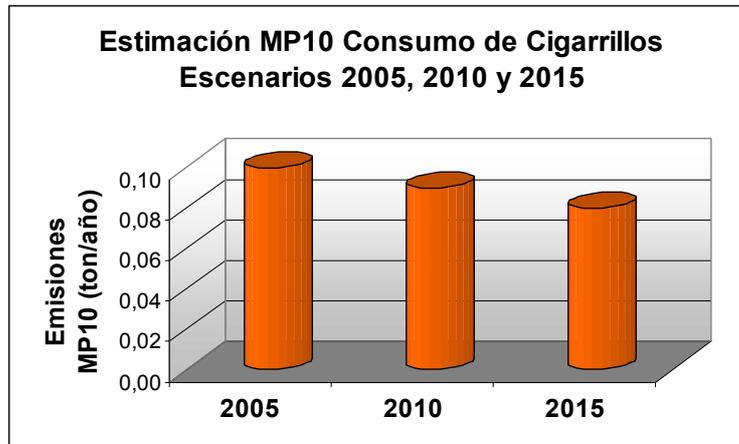


Figura 44. Comparación de emisiones provenientes del consumo de cigarrillos, escenarios 2005, y 2010 y 2015 proyectados.

4.2.6 Fuentes polvo fugitivo

4.2.6.1 Construcción de Edificios

Para esta fuente la proyección se realizó en base a datos históricos de Edificación 1999-2006 reportados por el INE para la IX región, y también con antecedentes de proyecciones reportados dentro del estudio “Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas”, preparado por CONAMA IX Región, 2007, obteniéndose un crecimiento de 19% para el sector vivienda. Respecto al sector industria y servicios, se utilizó una proyección equivalente al crecimiento de la actividad económica de la región, el que se estima a partir de la proyección de crecimiento por PIB promedio 1996-2003 de un 3,3 % anual³⁷,

Los resultados son los siguientes:

Tabla 163. Metros cuadrados construidos

Comuna	m ² construidos Año 2005	m ² construidos Año 2010	m ² construidos Año 2015
Temuco	282.757	321.624	372.809
Padre las Casas	18.537	23.213	25.380
Total	301.294	344.847	398.189

Fuente: Elaboración propia, considerando Anuario de Edificación INE y “Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas”, preparado por CONAMA IX Región, 2007.

³⁷ La fuente de información corresponde al Observatorio Económico y Social de la Araucanía, de la Universidad de la Frontera informado el 2006.

Tabla 164: Emisiones de MP y PTS según destino de construcción y edificación, escenarios 2010 y 2015.

Comuna	Emisiones 2005 (Ton/año)		Emisiones 2010 (Ton/año)		Emisiones 2015 (Ton/año)	
	MP ₁₀	PTS	MP ₁₀	PTS	MP ₁₀	PTS
Temuco	41,9	85,50	47,67	97,26	55,25	112,74
Padre Las Casas	2,74	5,60	3,44	7,02	3,76	7,67
Total	44,65	91,11	51,11	104,28	59,01	120,41

Fuente: Elaboración Propia

La figura siguiente entrega la estimación de emisiones efectuada para el escenario base 2005 y sus proyecciones al 2010 y 2015.

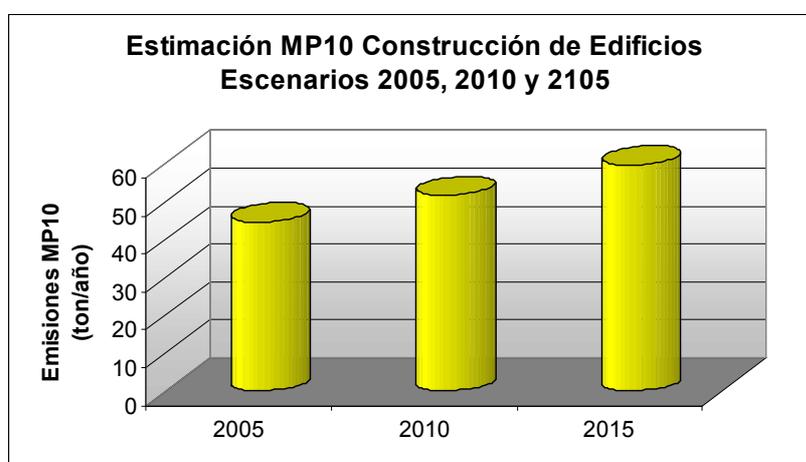


Figura 45. Comparación de emisiones provenientes de la construcción de edificios, escenarios 2005, y 2010 y 2015 proyectado

4.2.6.2 Construcción de Caminos

La proyección de las emisiones 2010 y 2015 de las comunas de Temuco y Padre las Casas, para la construcción de caminos, fueron calculadas mediante la utilización de datos confeccionados por el Gobierno de la Araucanía en el documento llamado “Plan Regional de Gobierno 2006 – 2010 Región de La Araucanía. Agosto de 2006”, donde se entregan proyecciones de inversión hasta el año 2010 para MOP y MINVU. También se trabajó con información proporcionada por el Departamento de Estadísticas de Obras Urbanas del MINVU, donde se entregó el programa de pavimentación participativa por comuna desde el 1^a al 15^a llamado lo que corresponde a los años 1995-2007 y la pavimentación de calles y pasajes actualmente en contratación al 2008. Con esto se estableció una relación entre la inversión y la pavimentación con lo que se obtuvo la proyección al 2010 y 2015.

En el caso de la construcción de caminos MOP, se trabajó además con información entregada por el Departamento de Conservación, lo que permitió establecer una relación entre la inversión y la pavimentación. Es importante mencionar que de acuerdo al documento del

Gobierno de la Araucanía, el MOP pretende pavimentar 100 Km. anuales hasta el 2010 los cuales fueron distribuidos comunalmente, obteniendo así la proyección para ese año. En el caso de la proyección 2015, como aún no se registran antecedentes relativos a inversión de infraestructura de obras para caminos al 2015, se consideró un crecimiento de 50 Km. por año, obteniendo así la proyección.

Los valores obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 165. Construcción de caminos MINVU

Comuna	Año 2005 Superficie (m ²)	Año 2010 Superficie (m ²)	Año 2015 Superficie (m ²)
Padre Las Casas	9.300	5.757	5.897
Temuco	71.120	76.640	78.497
Total	80.420	82.397	84.394

Fuente: Departamento de Estadísticas de Obras Urbanas del MINVU.

Tabla 166. Emisiones de MP₁₀ y PTS provenientes de la construcción de caminos MINVU

Comuna	Emisiones 2005 (Ton/año)		Emisiones 2010 (Ton/año)		Emisiones 2015 (Ton/año)	
	PM ₁₀	PTS	PM ₁₀	PTS	PM ₁₀	PTS
Padre Las Casas	3,04	4,69	1,88	2,90	1,92	2,97
Temuco	23,21	35,84	25,02	39,63	25,62	39,56
Total	26,25	40,53	26,89	41,53	27,55	42,53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 167. Construcción de caminos MOP

Comuna	Año 2005 Superficie (m ²)	Año 2010 Superficie (m ²)	Año 2015 Superficie (m ²)
Padre Las Casas	0,00	0,00	0,00
Temuco	48.000	119.845	59.922
Total	48.000	119.845	59.922

Fuente: MOP, Departamento de Conservación

Nota: No se registran datos para Padre Las Casas.

Tabla 168. Emisiones de MP₁₀ y PTS provenientes de la construcción de caminos MOP

Comuna	Emisiones 2005 (Ton/año)		Emisiones 2010 (Ton/año)		Emisiones 2015 (Ton/año)	
	PM ₁₀	PTS	PM ₁₀	PTS	PM ₁₀	PTS
Padre Las Casas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temuco	15,67	24,19	39,12	60,40	19,56	30,20
Total	15,67	24,19	39,12	60,40	19,56	30,20

Fuente: Elaboración propia

Nota: No se registran datos para Padre las Casas

La siguiente tabla muestra las emisiones obtenidos para la construcción total de caminos (MINVU Y MOP) construidos en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, para los

escenarios en estudio, y la figura siguiente indica en forma gráfica la evolución en emisiones esperadas.

Tabla 169. Emisiones de MP₁₀ y PTS. Construcción de caminos MINVU y MOP

Comuna	Emisiones 2005 (Ton/año)		Emisiones 2010 (Ton/año)		Emisiones 2015 (Ton/año)	
	PM ₁₀	PTS	PM ₁₀	PTS	PM ₁₀	PTS
Padre Las Casas	3,04	4,69	1,88	2,90	1,92	2,97
Temuco	38,88	60,04	64,13	99,03	45,18	69,76
Total	41,92	64,72	66,01	101,93	47,10	72,74

Fuente: Elaboración propia

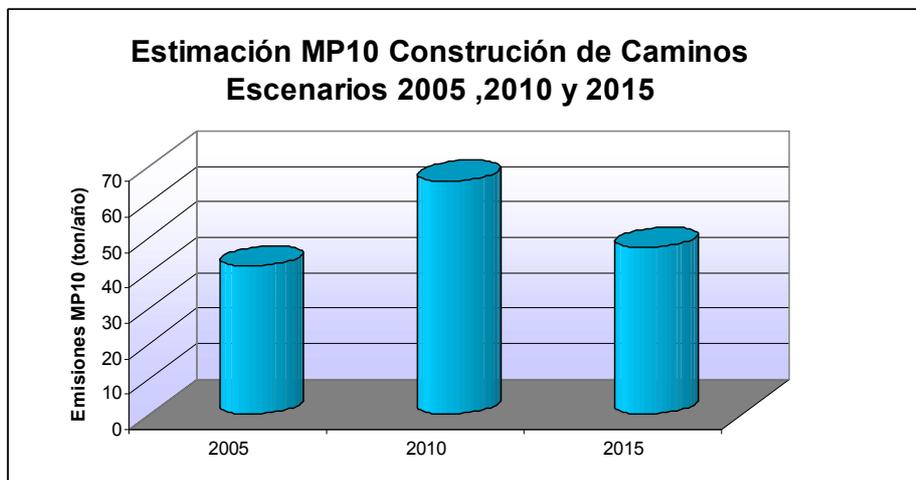


Figura 46. Comparación de emisiones provenientes de la construcción de caminos, escenarios 2005, y 2010 y 2015 proyectado.

4.2.6.3 Preparación de Terrenos Agrícolas

Para esta fuente la proyección se realizó considerando datos actualizados entregados por el INE a nivel nacional y por región al año 2005, para Cereales, Chacras y Cultivos Industriales; para las Frutas y Hortalizas se utilizaron datos de producción elaborados por la ODEPA, INE y CIREN; con estos datos se hicieron proyecciones mediante regresión lineal al 2010 y 2015 de los totales por cultivos, luego para distribuir comunalmente la superficie cultivada se conservó la participación comunal del censo de 1997.

Las siguientes tablas muestran los valores obtenidos:

Tabla 170. Hectáreas proyectadas por tipo de cultivo

Tipo de cultivo	Año 2005		Año 2010		Año 2015	
	Padre Las Casas (há/año)	Temuco (há/año)	Padre Las Casas (há/año)	Temuco (há/año)	Padre Las Casas (há/año)	Temuco (há/año)
Cereales Y Chacras	5.890	4.610	4.949	3.865	4.010	3.124
Cultivos Industriales	3.997	2.274	5.252	2988	6.507	3.702
Hortalizas	463	161	485	168	508	176
Frutales	732	450	845	520	959	589
Total preparación de terrenos agrícolas	11.084	7.496	11.533	7.542	11.985	7.593

Fuente: INE, ODEPA

La estimación de emisiones se realizó utilizando el Sistema de Administración de Inventarios de Emisiones (SAIE).

Tabla 171. Emisiones por tipo de cultivo año 2005

Comuna	Emisiones Cereales y Chacras (Ton/Ha)			Emisiones Industriales (Ton/Ha)			Emisiones Frutales (Ton/Ha)			Emisiones Hortalizas (Ton/Ha)		
	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5
Padres Las Casas	3,15	2,30	0,94	0,71	0,52	0,21	0,04	0,03	0,01	0,80	0,58	0,24
Temuco	2,11	1,54	0,63	0,40	0,30	0,12	0,13	0,10	0,04	0,72	0,52	0,22
Total	5,25	3,84	1,58	1,12	0,81	0,33	0,17	0,12	0,05	1,52	1,11	0,45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 172. Emisiones por tipo de cultivo año 2010

Comuna	Emisiones Cereales y Chacras (Ton/Ha)			Emisiones Industriales (Ton/Ha)			Emisiones Frutales (Ton/Ha)			Emisiones Hortalizas (Ton/Ha)		
	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5
Padres Las Casas	2,11	1,54	0,63	1,79	1,31	0,54	0,04	0,03	0,01	0,84	0,61	0,25
Temuco	1,53	1,12	0,46	1,02	0,74	0,31	0,15	0,11	0,05	0,75	0,55	0,23
Total	3,64	2,66	1,09	2,81	2,05	0,84	0,19	0,14	0,06	1,59	1,16	0,48

Fuente: Elaboración propia

Tabla 173. Emisiones por tipo de cultivo año 2015

Comuna	Emisiones Cereales y Chacras (Ton/Ha)			Emisiones Industriales (Ton/Ha)			Emisiones Frutales (Ton/Ha)			Emisiones Hortalizas (Ton/Ha)		
	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5	PTS	MP10	MP2,5
Padres Las Casas	1,73	1,26	0,52	2,22	1,62	0,66	0,05	0,03	0,01	0,87	0,64	0,26
Temuco	1,25	0,91	0,37	1,26	0,92	0,38	0,17	0,12	0,05	0,79	0,57	0,24
Total	2,98	2,18	0,89	3,48	2,54	1,04	0,22	0,16	0,07	1,66	1,21	0,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 174. Emisiones totales de MP10 provenientes de preparación de terrenos agrícolas, escenarios 2005, 2010 y 2015.

Comuna	2005	2010	2015
Padres Las Casas	3,43	3,49	3,55
Temuco	2,46	2,52	2,52
Total	5,89	6,01	6,07

Fuente: Elaboración propia

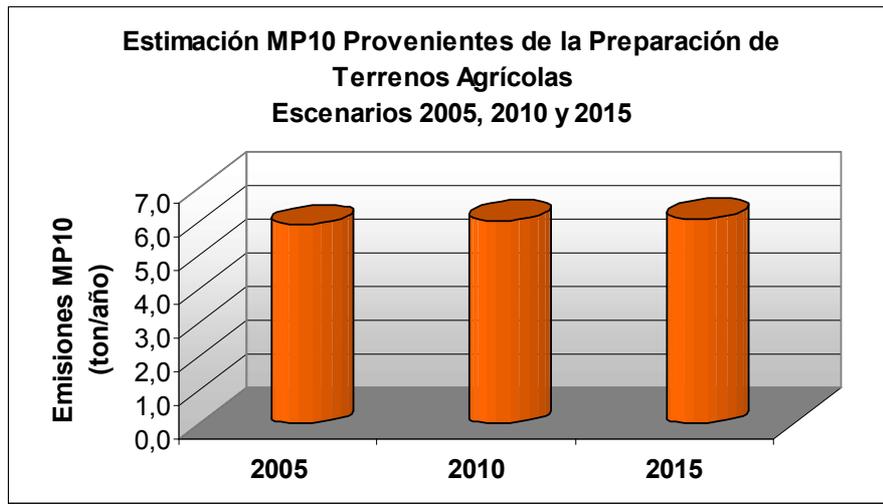


Figura 47. Comparación de emisiones provenientes de la preparación de terrenos agrícolas, escenarios 2005, y 2010 y 2015 proyectado.

4.2.6.4 Polvo resuspendido desde calles no pavimentadas

Para la proyección de las emisiones 2010 y 2015 de las comunas de Temuco y Padre Las Casas, se utilizaron los déficit de pavimentación calculados para MOP y MINVU a partir de la construcción de caminos proyectadas para los años correspondientes.

Estos datos se obtuvieron utilizando valores de inversión proyectados para MINVU y MOP de acuerdo al documento confeccionado por el Gobierno de la Araucanía llamado “Plan Regional de Gobierno 2006 – 2010 Región de La Araucanía. Agosto de 2006”. Esta información fue complementada con datos entregados por el Departamento de Estadísticas de Obras Urbanas del MINVU, donde se reportaron valores hasta el 2008 de pavimentación y datos estadísticos entregados por el Departamento de Conservación del MOP.

Los valores proyectados son los siguientes:

Tabla 175. Emisiones de PM₁₀ y PTS de vías urbanas sin pavimentar asociadas a MINVU. Año 2010

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre Las Casas	187.100	1.287,9
Temuco	15,51	106,8
Total	202,610	1.394,7

Fuente: SEREMI MINVU IX REGION / Estimación DICTUC.

Tabla 176. Emisiones de PM₁₀ y PTS de caminos sin pavimentar asociados a MOP. Año 2010

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre Las Casas	0	0
Temuco	507,74	3.495,07
Total	507,74	3.495,07

Fuente: MOP, Departamento de Conservación

Nota: No se entregaron datos para Padre Las Casas.

Tabla 177. Emisiones de PM₁₀ y PTS de vías urbanas sin pavimentar asociadas a MINVU y MOP. Año 2010

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre las Casas	187.100,00	1.287,90
Temuco	523,25	3.601,87
Total	187.623,25	4.889,77

Fuente: Estimación DICTUC.

Tabla 178. Emisiones de PM₁₀ y PTS de vías urbanas sin pavimentar asociadas a MINVU. Año 2015

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre las Casas	186,81	1285,92
Temuco	11,59	79,78
Total	198,40	1365,70

Fuente: SEREMI MINVU IX REGION / Estimación DICTUC.

Tabla 179. Emisiones de PM₁₀ y PTS de caminos sin pavimentar asociados a MOP. Año 2015

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre las Casas	-	-
Temuco	492,76	3.391,95
Total	492,76	3.391,95

Fuente: MOP, Departamento de Conservación

Nota: No se entregaron datos para Padre Las Casas

**Tabla 180. Emisiones de PM₁₀ y PTS de vías urbanas sin pavimentar asociadas a MINVU y MOP
 Año 2015**

Comuna de Estudio	Sin Pavimentar	MP ₁₀
	Km lineales	Ton/año
Padre las Casas	186,81	1.285,92
Temuco	504,35	3.471,73
Total	691,16	4.757,65

Fuente: Estimación DICTUC

La siguiente gráfica resume la proyección de emisiones esperadas para los escenarios 2010 y 2015, en donde se aprecia una disminución paulatina de emisiones de MP₁₀, situación que se asocia a que el déficit de pavimentación va en decrecimiento, producto de los programas de inversión en obras de pavimentación que se tienen planificados para los próximos años en la región.

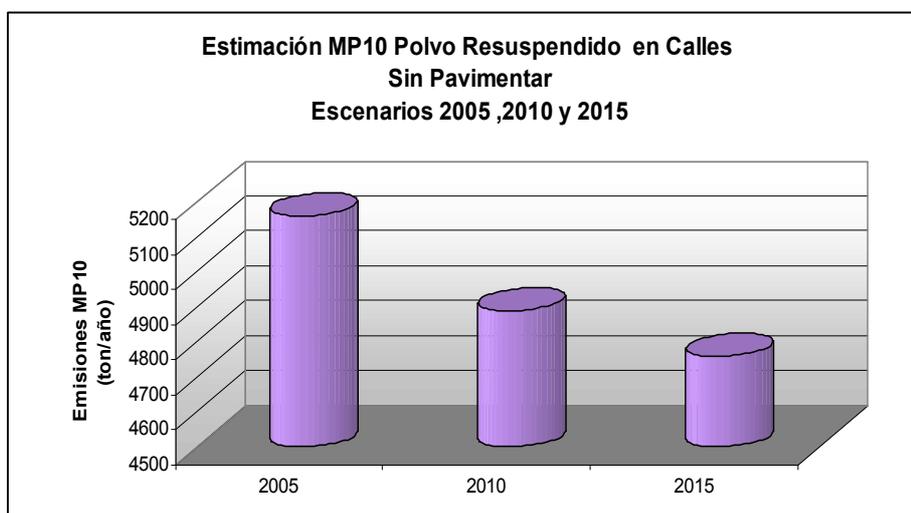


Figura 48. Comparación de emisiones provenientes de polvo resuspendido por el tráfico de vehículos en calles sin pavimentar, escenarios 2005, y 2010 y 2015 proyectado.

4.2.7 Fuentes Fijas

4.2.7.1 Proyección de emisiones 2010

La proyección de emisiones 2010 para las comunas de Temuco y Padre las Casas, se realiza utilizando la base de datos 2005, desarrollada previamente.

Dado que la finalidad de la base de datos generada, es la modelación de la dispersión de los contaminantes, y la evaluación previa de la eficiencia de las medidas de control de emisiones establecidas en el Plan de Descontaminación, la proyección de las emisiones se realiza aumentando los niveles de actividad de las fuentes existentes. No se consideran fuentes nuevas por la dificultad que implica la definición de su localización futura.

El primer aspecto proyectado corresponde al crecimiento de la actividad económica de la región, el que se estima a partir de la proyección de crecimiento por PIB promedio 1996-2003 de un 3,3 % anual, la fuente de información corresponde al Observatorio Económico y Social de la Araucanía, de la Universidad de la Frontera informado el 2006. Se proyecta el crecimiento, con un aumento en los consumos de combustible de calderas de calefacción, industriales y procesos con combustión, y producciones en procesos sin combustión. La base de datos en Excel, queda parametrizada para evaluar diferentes escenarios de crecimiento.

La base de datos proyectada al 2010, considera las medidas de control de emisiones establecidas en el Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférico para las comunas de Temuco y Padre las Casas, en su capítulo III, “control de emisiones asociadas a fuentes industriales, comerciales y calderas de calefacción grupales de las comunas de Temuco y Padre las Casas”, las que serían obligatorias si el PDA es oficializado solo a partir del año 2011.

El anteproyecto considera una norma de emisión de MP para fuentes existentes de 112 mg/m³N, y de 56 mg/m³N para fuentes nuevas.

Basándose en la experiencia desarrollada en control de emisiones de fuentes fijas de la Región Metropolitana, donde se establecieron este mismo tipo de normas de emisión, se puede afirmar que:

- Las calderas de calefacción que operan con leña o residuos de madera, como combustible, emiten concentraciones de material particulado muy superiores a la norma propuesta para fuentes existentes, lo que implica que se deberán cambiar de combustible para darle cumplimiento.

El combustible de alternativa más factible técnica y económicamente es el petróleo diesel, dado que en general se pueden adaptar con reparaciones menores las calderas existentes.

Aunque existen tecnologías para la quema de leña o residuos de madera con bajas emisiones, esta opción implica la renovación total del equipamiento, lo que implica un costo mayor, por lo cual no se considera una alternativa viable.

Para realizar la evaluación del cumplimiento de la medida, en el inventario 2010 proyectado, se estiman las emisiones de las calderas de calefacción como si operaran con petróleo diesel de combustible, corrigiendo los consumos por el poder calorífico correspondiente y las emisiones por sus factores de emisión.

Las calderas de calefacción que operan con petróleo diesel o gas como combustible, no tienen problemas en cumplir este tipo de norma, sin embargo, la exigencia de medición de emisiones cada 36 meses para aquellas que operan con diesel, con método CH-5 resulta inadecuado, dado que en este tipo de fuentes, los quemadores operan en forma intermitente, de acuerdo a los requerimientos de calefacción, por lo cual cumplir con los requerimientos del método de muestreo es casi imposible.

Para el control de emisiones en calderas de calefacción con petróleo diesel, gas licuado, gas natural y kerosene, se sugiere la aplicación del método CH-A con periodicidad anual, metodología diseñada para asegurar la correcta calibración de las condiciones de combustión, sin medir emisión de MP.

Las calderas de calefacción que persistan en la operación con leña deberán medir sus emisiones anualmente con CH-5, sin embargo, se debe tener un gran cuidado con la medición de los excesos de aire, dado que este tipo de fuente descarga sus emisiones por chimeneas adosadas a la estructura del edificio, donde son descargadas también ventilaciones propias del edificio que diluyen considerablemente el muestreo.

- Las panaderías que operan con leña o residuos de madera, como combustible, emiten también concentraciones de material particulado muy superiores a la norma propuesta para fuentes existentes, lo que implica que se deberán cambiar de combustible para darle cumplimiento.

Las panaderías que operan con hornos chilenos, fijos de bandejas u otros tipos pueden ser convertidos al uso de diesel o gas licuado, mediante la instalación de un quemador pequeño, esta solución fue implementada en la Región Metropolitana con excelentes resultados ambientales y con beneficios económicos y prácticos, tales como la liberación del espacio usado en almacenamiento, mejora de las condiciones sanitarias y de las condiciones de trabajo en la sala de amasijo, reducción en los tiempos de calentamiento, aumento de la producción al aumentar a tres las cargas de cocción al día y reducción de costos por combustible (es recomendable evaluar la situación actual de Temuco y Padre las Casas).

Dada la forma de operar de las panaderías, el uso de tecnologías de combustión de leña de baja emisión no parece razonable.

De igual forma, la medición con método CH-5 no es factible en este tipo de fuentes, por lo cual se sugiere su medición con CH-A con periodicidad anual.

Para realizar la evaluación del cumplimiento de la medida, en el inventario 2010 proyectado, se estiman las emisiones de las panaderías como si operaran con petróleo diesel de combustible, corrigiendo los consumos por el poder calorífico correspondiente y las emisiones por sus factores de emisión.

- Las calderas industriales que operan con residuos de madera y leña, en general no pueden cumplir con la norma propuesta, solo el caso de la caldera de la Empresa EMBONOR, que corresponde a un gasificador de leña y posterior caldera de combustión, podría cumplirla, el resto de instalaciones deberá invertir en sistemas de combustión modernos o equipos de control, la alternativa de equipos de control tubo muchas experiencias fallidas en la Región Metropolitana, dado que el material particulado generado por la combustión de leña es muy fino todo bajo $2,5 \mu\text{m}$, en general los equipos diseñados e instalados tuvieron corta duración y baja eficiencia de captación (filtro de manga, ciclones y lavadores).

Para la evaluación del cumplimiento de la norma se utilizó un factor de emisión estimado con el límite propuesto, sin embargo, en la práctica la implementación de tecnologías modernas de combustión, como gasificadores, tambores ciclónicos u otros pueden reducir considerablemente las emisiones por bajo la norma propuesta.

Las calderas industriales que operan con carbón como combustible, no pueden cumplir la norma de emisión propuesta, sin instalar equipos de control de emisiones, lo usual en este tipo de fuentes es el uso de un separador previo, usualmente un multiciclón, con un filtro de mangas posterior. Con este tipo de soluciones se consiguen concentraciones bajo los $50 \text{ mg/m}^3\text{n}$, sin embargo se proyecta el cumplimiento de la norma con un factor estimado en el límite de la norma.

- Los procesos que involucran limpieza de granos, pueden tener problemas para cumplir la norma propuesta si no controlan sus emisiones adecuadamente, es usual que la descarga de camiones, se realice sin control, a pesar que estas operaciones son de corta duración y solo durante la temporada de cosecha, puede causar impacto local de consideración, por lo que en instalaciones modernas se realiza en un sitio confinado y con control de emisiones mediante succión y posterior filtrado mediante mangas.

Las operaciones de limpieza suelen ser espaciadas durante el año dependiendo de la capacidad de molienda de la instalación, los granos son mezclados de acuerdo a su calidad y luego molidos, las emisiones se controlan inicialmente mediante ciclones y posteriormente con filtros de mangas.

En la estimación 2010, se considera a todas las instalaciones operando con filtros de mangas.

- Se estima que las fuentes de la industria de artes graficas y fabricación de artículos plásticos, no tendrán problemas en cumplir la norma de emisión propuesta, por lo que sus emisiones estimadas 2005 fueron proyectadas solo con el crecimiento del PIB.
- Las fuentes de la industria de fabricación de hormigón y manejo de áridos, corresponde principalmente al tipo de fuentes no puntuales, con emisiones fugitivas, por lo que no se ven afectadas por las definiciones de las normas propuestas, sin embargo en la medida que se haga efectiva la exigencia del artículo N°18 de prohibir las emisiones que no sean por chimenea, tendrán que implementar sistemas de control, los que generalmente son filtros de mangas.
- Las fuentes de las empresas de fabricación de madera elaborada y de muebles de madera, pueden tener problemas con el cumplimiento de la norma de emisión propuesta, debiendo controlar las emisiones de polvo que salen de los sistemas de recepción de virutas, aserrín y polvos de lija mediante filtros de mangas, dada la falta de muestreos en estas fuentes y la inexistencia de factores de emisión, este tipo de fuentes no cuentan con una estimación de sus emisiones en el inventario 2005 ni en el 2010, por lo que se requiere que realicen muestreos de sus emisiones para ser incluidos posteriormente.

Tabla 181. Resumen de emisiones año 2010 de fuentes estacionarias puntuales de Temuco y Padre Las Casas [Ton/año]

CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO	MP ₁₀ ²	CO	NOX	COV ³	SOX	NH ₃
CALDERA CALEFACCION	3,4	12,0	48,0	0,8	60,0	2,02
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA	0,4	0,0	0,0	0,3	0,0	0,00
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS	30,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
FABRICACION DE MADERA ELABORADA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS	0,0	0,0	0,0	33,0	0,0	0,00
FAENAMIENTO DE ANIMALES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PROCESAMIENTO DE GRANOS	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	0,4	11,1	0,3	0,0	0,2	0,03
PANADERIA	1,8	3,4	4,3	0,1	5,9	0,59
CALDERA INDUSTRIAL	36,8	136,4	39,2	2,0	389,7	24,53
TOTAL GENERAL	75,9	162,9	91,8	36,3	455,7	27,16

La reducción de emisiones de MP10, entre el 2005 y 2010 es producto de la aplicación de las medidas consideradas, aunque no se consideran medidas de control para la emisión de gases, están varían debido a los cambios de combustible que las medidas de control de MP generan.

También se generan aumentos de emisiones producto del crecimiento natural por el PIB de la región.

4.2.7.2 Proyección de emisiones 2015

La proyección de emisiones 2015 para las comunas de Temuco y Padre las Casas, se realiza utilizando la base de datos 2005, desarrollada previamente.

El único aspecto proyectado en esta base, corresponde al crecimiento de la actividad económica de la región, el que se estima a partir de la proyección de crecimiento por PIB promedio 1996-2003 de un 3,3 % anual. La fuente de información corresponde al Observatorio Económico y Social de la Araucanía de la Universidad de la Frontera informado el 2006. Se proyecta el crecimiento, con un aumento en los consumos de combustible de calderas de calefacción, industriales y procesos con combustión, y producciones en procesos sin combustión.

No se incluyen otras medidas de control, dado que solo están establecidas aquellas que deben estar en cumplimiento el año 2011.

La tabla siguiente resume el resultado de las emisiones estimadas para el inventario 2015.

Tabla 182. Resumen de emisiones año 2015 de fuentes estacionarias puntuales de Temuco y Padre las Casas [Ton/año]

CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO	MP ₁₀ ²	CO	NOX	COV ³	SOX	NH ₃
CALDERA CALEFACCION	3,7	13,1	52,4	0,9	64,6	2,17
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA	0,5	0,0	0,0	0,3	0,0	0,00
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS	35,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
FABRICACION DE MADERA ELABORADA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS	0,0	0,0	0,0	33,0	0,0	0,00
FAENAMIENTO DE ANIMALES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PROCESAMIENTO DE GRANOS	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	0,5	13,1	0,3	0,0	0,2	0,03
PANADERIA	2,0	3,9	4,7	0,1	6,3	0,67
CALDERA INDUSTRIAL	42,1	156,9	45,7	2,3	458,3	28,29
TOTAL GENERAL	87,8	187,0	103,1	36,7	529,4	31,16

Los incrementos en las emisiones se deben exclusivamente al crecimiento de la actividad proyectada, mediante el aumento en los consumos de combustible y producciones.

4.2.7.3 Comparación de emisiones de MP10 con los diferentes escenarios estimados

La tabla siguiente muestra una comparación de las emisiones de MP₁₀ estimadas para los inventarios 2005, 2010 y 2015, con la implementación de las medidas evaluadas.

Tabla 183. Resumen de emisiones de MP10 diferentes escenarios, fuentes puntuales, Temuco y Padre las Casas [Ton/año].

EMISIONES ANUALES MP ₁₀ TON/AÑO	2005	2010	2015
CALDERA CALEFACCION	38,8	3,4	3,7
FABR. DE ARTICULOS Y MUEBLES DE MADERA	0,5	0,4	0,5
FABRICACION DE HORMIGON Y MANEJO DE ARIDOS	39,4	30,5	35,9
FABRICACION DE MADERA ELABORADA	0	0,0	0,0
FABRICACION DE ARTICULOS PLASTICOS	0	0,0	0,0
FAENAMIENTO DE ANIMALES	0	0,0	0,0
INDUSTRIA DE ARTES GRAFICAS	0	0,0	0,0
PROCESAMIENTO DE GRANOS	85,7	2,6	3,0
PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO	1,6	0,4	0,5
PANADERIA	4,2	1,8	2,0
CALDERA INDUSTRIAL	66,1	36,8	42,1
TOTAL GENERAL	236,3	75,9	87,8

La implementación de las medidas de control de emisiones establecidas en el Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférico para las comunas de Temuco y Padre las Casas, en su capítulo III, “Control de emisiones asociadas a fuentes industriales, comerciales y calderas de calefacción grupales de las comunas de Temuco y Padre las Casas”, implica una reducción estimada de un 68 %, entre los años 2005 y 2010, luego un aumento de un 16% entre el 2010 y 2015, producto del crecimiento normal por PIB.

Las reducciones más significativas se dan en las calderas de calefacción, industriales y en el procesamiento de granos, las panaderías a pesar de que no aportan significativamente, generan un impacto local alto debido a sus altos consumos en poco tiempo y que sus chimeneas son de baja altura y a que están localizadas en zonas pobladas, por lo cual su conversión a combustible menos emisores es muy útil.

La siguiente figura muestra la proyección de emisiones de MP10 estimada para los años 2010 y 2015, para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

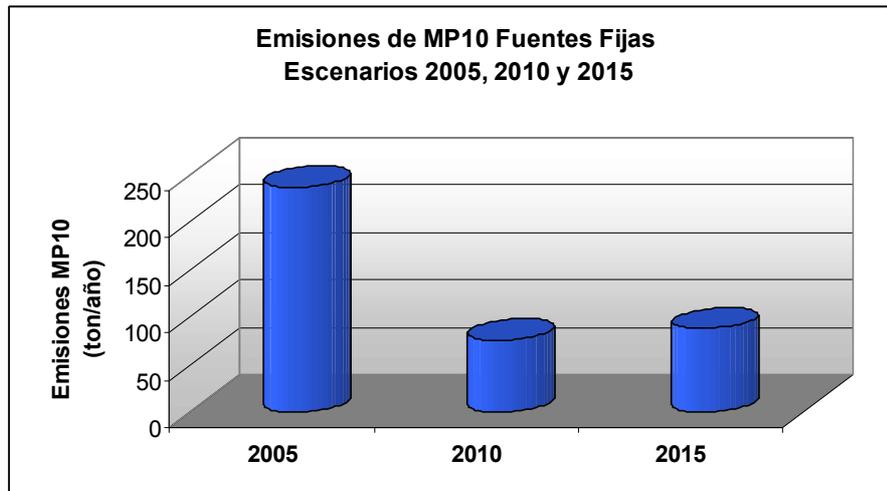


Figura 49. Comparación de emisiones de MP10 sector fuentes fijas, escenarios 2005, 2010 y 2015.

5 RESUMEN DE RESULTADOS DE EMISIONES

A continuación se entregan los resultados del Inventario de Emisiones 2005 para las comunas de Temuco y Padre Las Casas, así como también se entregan los resultados de los inventarios de emisiones proyectados para los años 2010 y 2015 considerando escenarios conservador y optimista, este último con las medidas propuestas en el marco de la formulación del PDA y estrategias de control de emisiones contempladas dentro del mismo, acordadas previamente con la contraparte técnica de la consultoría.

Las tablas presentadas en esta sección entregan los resultados agregados de las fuentes emisoras principales, mientras que en el Anexo E se entregan los resultados del inventario detallado por fuente específica.

Las figuras siguientes muestran la forma de agregación de las fuentes agrupadas por categoría principal, con el fin de poder interpretar a qué fuentes específicas corresponden las agrupaciones de fuentes principales entregadas en las tablas de resúmenes de inventarios que se entregan a continuación.

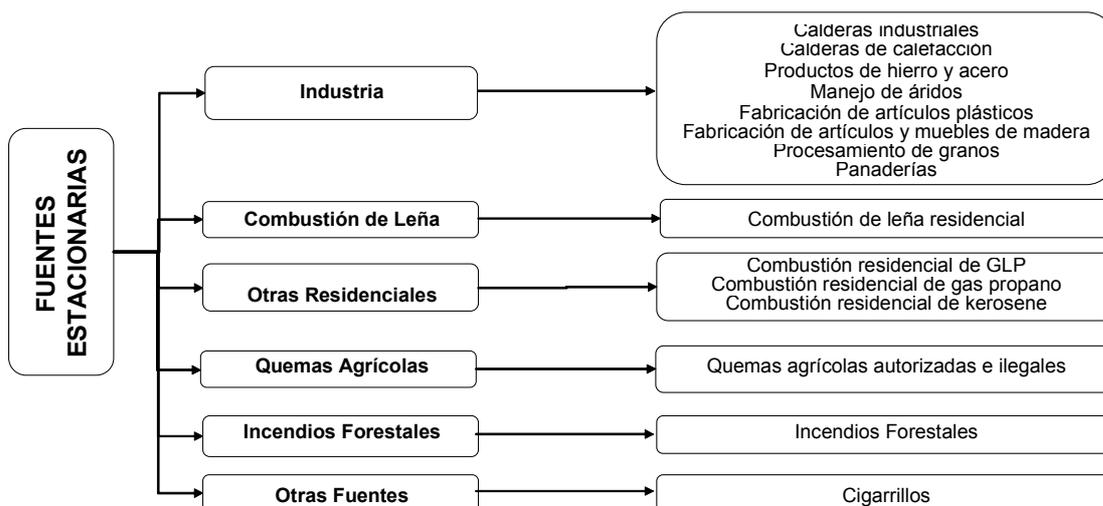


Figura 50. Estructura de agrupación de fuentes estacionarias.

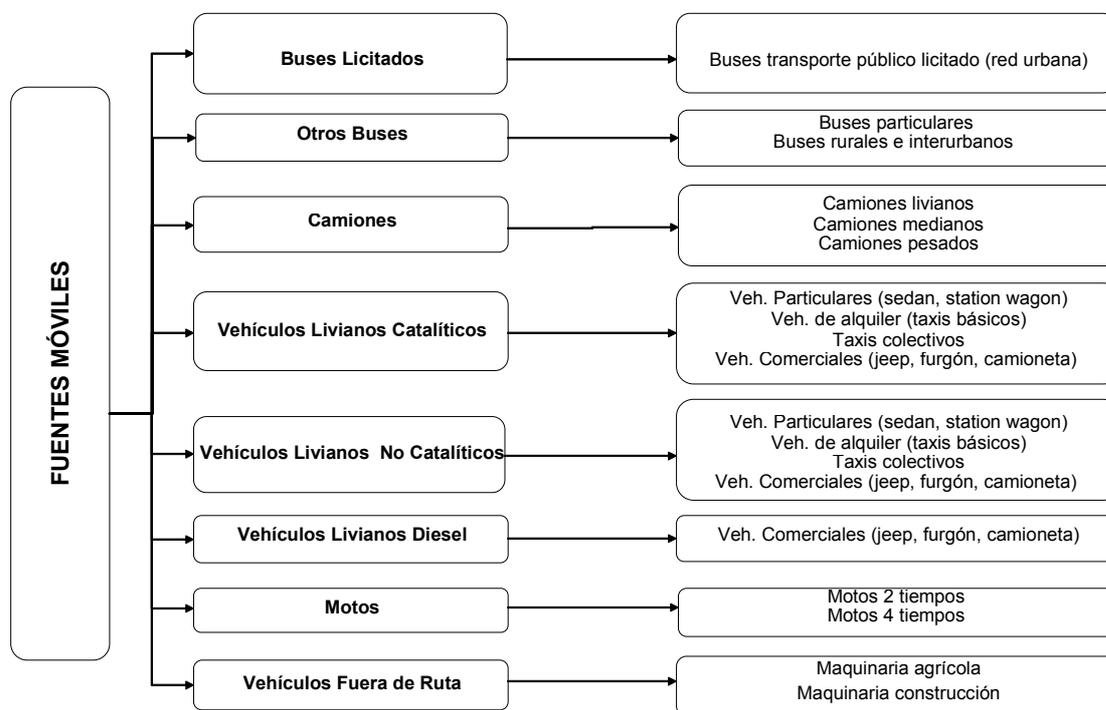


Figura 51. Estructura de agrupación de fuentes móviles.

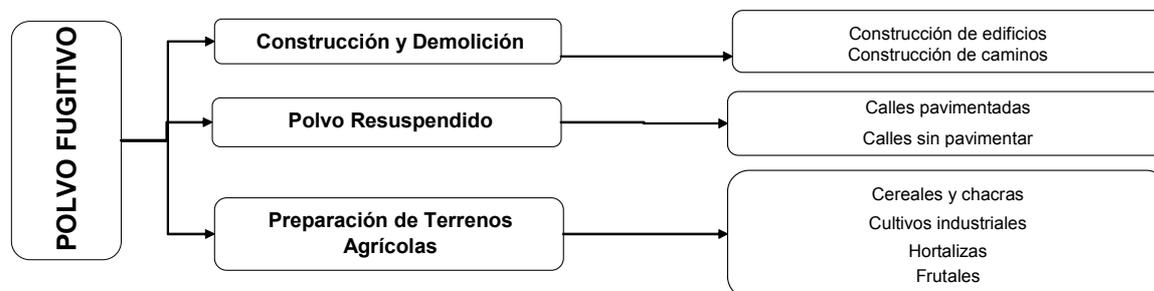


Figura 52. Estructura de agrupación de fuentes de polvo fugitivo.

5.1 Escenario 2005

Tabla 184: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES, ESCENARIO 2005, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES ESCENARIO 2005							
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Industria	236,3	0,0	229,0	59,4	36,9	344,2	37,3
Combustión de Leña Residencial	5374,6	5223,1	56925,8	340,5	34893,8	45,6	NE
Otras Combustión Residencial	0,5	0,5	0,2	1,6	0,2	0,0	0,0
Quemas Agrícolas	90,5	86,3	959,0	14,2	62,2	6,2	0,0
Incendios Forestales	30,9	26,3	299,8	9,8	20,6	3,0	3,0
Otras Fuentes	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
Total Estacionarias	5.732,9	5.336,3	58.413,9	425,5	35.013,6	398,9	40,4
Taxibus	37,8	34,3	191,3	606,3	75,3	29,3	0,1
Otros Buses	1,1	1,0	5,1	16,6	1,4	0,5	0,0
Camiones	7,7	6,9	39,0	75,3	25,2	6,1	0,0
Veh Livianos Catalíticos	4,5	1,0	2.900,7	112,2	184,2	4,6	17,8
Veh Livianos no Catalít.	3,6	1,9	6.627,0	433,4	846,8	2,2	0,2
Veh. Livianos Diesel	4,4	3,7	16,2	27,6	3,9	5,7	0,0
Motos	0,0	-	49,7	0,2	8,0	0,0	0,0
Fuera de ruta	5,6	5,2	28,8	36,3	5,0	-	-
Total Móviles	64,8	54,1	9.857,8	1.307,9	1.149,8	48,5	18,2
TOTAL MOVILES Y ESTACIONARIAS	5.797,6	5.390,3	68.271,7	1.733,4	36.163,5	447,4	58,6

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Notas:

NE = No Estimado

Las emisiones de PM10 de fuentes móviles reportadas en la tabla anterior, corresponden a las suma de las emisiones provenientes de la combustión y del desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones reportadas en la tabla anterior como CO, NOx y COV corresponden a emisiones provenientes de la combustión en caliente (cuando el vehículo se encuentra en régimen normal de operación), partidas en frío, balance frío/caliente. Para el caso específico de los COV, las emisiones corresponden, además, a la suma de emisiones evaporativas durante el recorrido, durante el día y por detenciones en caliente.

La categoría "Otros Buses" corresponde a buses particulares, y no incluye a buses rurales e interurbanos.

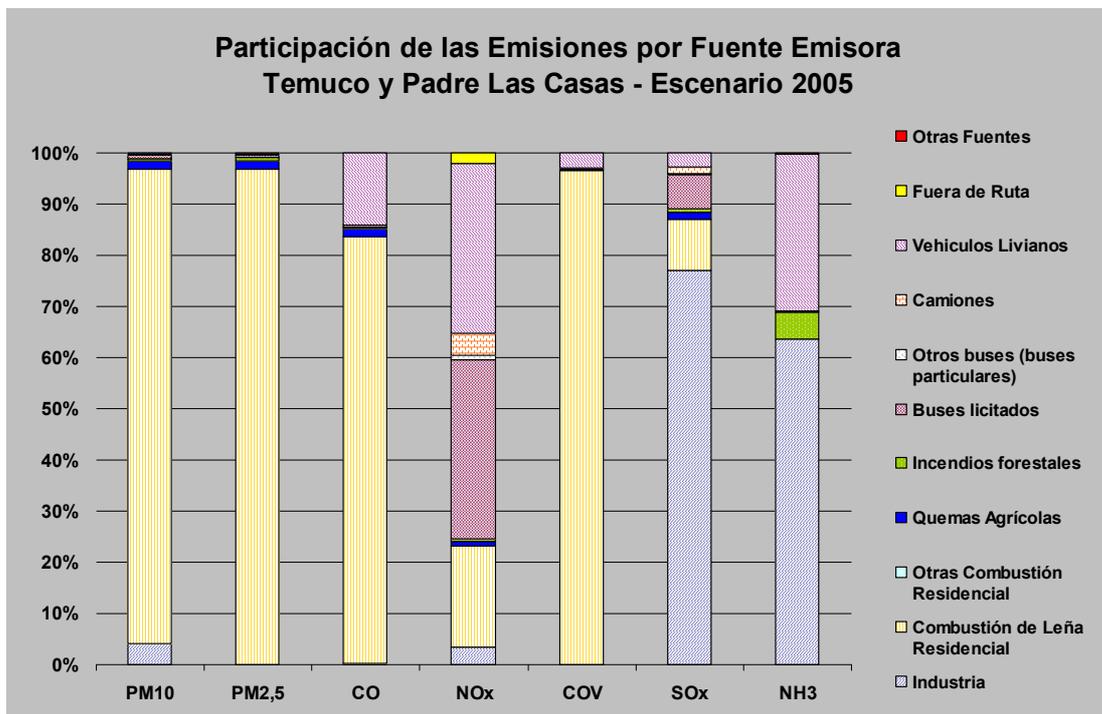


Figura 53: Participación de emisiones por categoría de fuentes, año 2005 anual, Temuco – Padre las Casas.

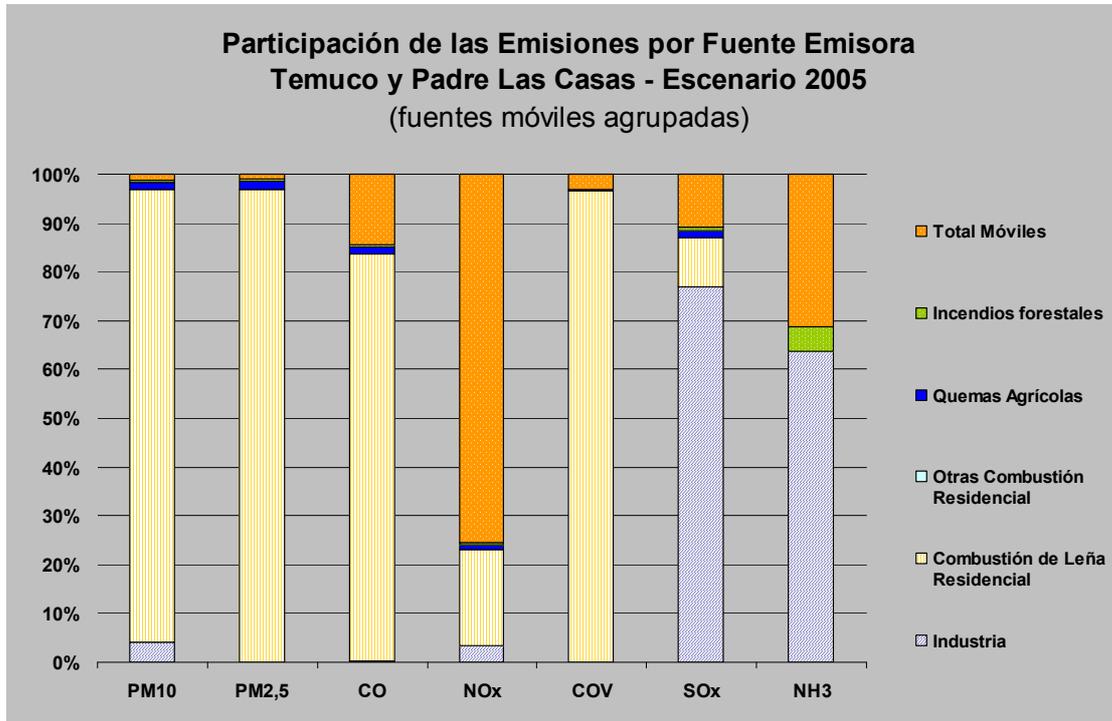


Figura 54: Participación de emisiones por categoría de fuentes, fuentes móviles agrupadas, año 2005 anual, Temuco – Padre las Casas.

Tabla 185: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES POLVO FUGITIVO, ESCENARIO 2005, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

POLVO FUGITIVO ESCENARIO 2005		
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5
	ton/año	ton/año
Construcción de Edificios	44,7	1,8
Construcción de Caminos	41,9	0,6
Construcción y Demolición	86,6	2,5
Polvo Resuspendido en Calles Pavimentadas	342,9	82,0
Polvo Resuspendido en Calles Sin Pavimentar	5.160,6	529,2
Total Polvo Resuspendido	5.503,5	611,2
Cereales y chacras	3,8	1,6
Cultivos Industriales	0,8	0,3
Hortalizas	1,1	0,5
Frutales	0,1	0,0
Preparación de Terrenos Agrícolas	5,9	2,4
TOTAL POLVO FUGITIVO	5.596,0	616,1

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

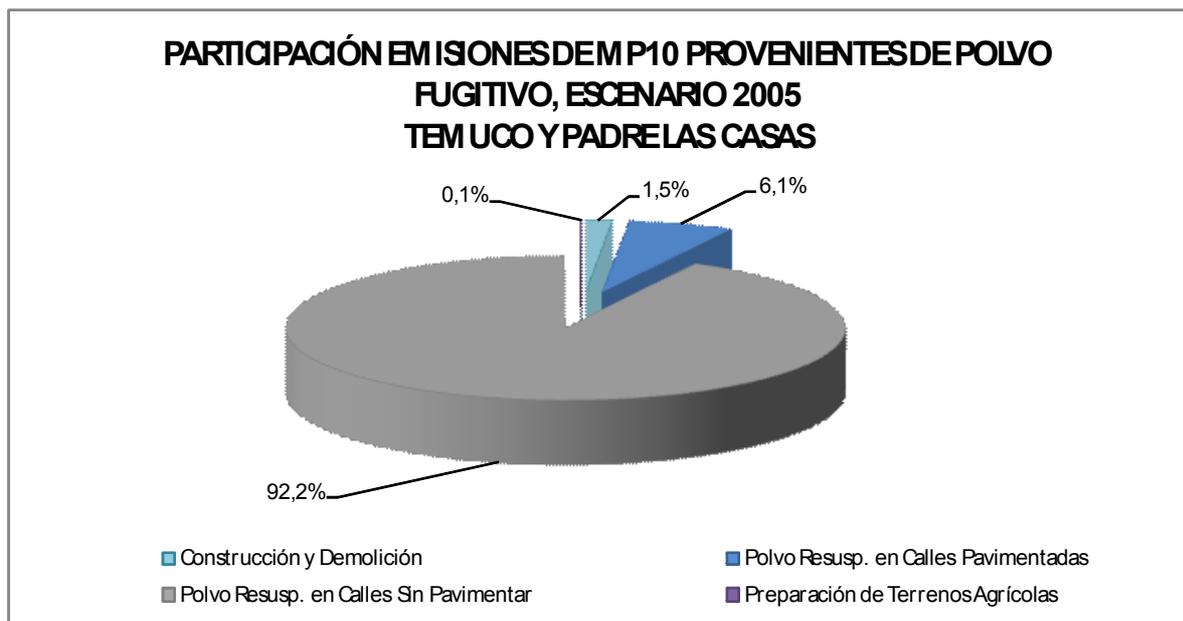


Figura 55. Participación de emisiones de MP10 provenientes de polvo fugitivo, escenario 2005.

5.2 Escenario 2010

5.2.1 Escenario 2010 Actual

Tabla 186: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES, ESCENARIO 2010 ACTUAL, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES ESCENARIO 2010 CONSERVADOR							
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Industria	278,0	0,0	269,4	69,9	43,4	405,0	43,9
Combustión de Leña Residencial	5.689,2	5528,9	62.366,1	374,7	37.000,8	50,0	0,0
Otras Combustión Residencial	0,5	0,5	3,6	17,7	1,4	0,0	0,0
Quemas Agrícolas	90,6	86,3	960,6	14,2	62,3	6,2	0,0
Incendios Forestales	27,7	23,5	268,6	8,7	18,4	2,6	2,7
Otras Fuentes	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Total Estacionarias	6.086,1	5.639,4	63.868,3	485,3	37.126,3	463,8	46,6
Taxibus	34,2	30,9	184,1	608,5	81,5	38,5	0,1
Otros Buses	0,9	0,8	4,3	14,2	1,2	0,5	0,0
Camiones	7,9	7,0	39,3	78,9	26,6	7,8	0,1
Veh Livianos Catalíticos	5,5	1,3	8.179,7	502,6	346,0	5,7	22,0
Veh Livianos no Catalít.	3,2	1,7	8.734,7	1.132,3	1185,5	2,0	0,2
Veh. Livianos Diesel	8,4	7,0	40,7	107,2	6,1	11,1	0,1
Motos	0,0	0,0	29,7	0,2	10,0	0,0	0,0
Fuera de ruta	5,6	5,2	28,7	38,5	5,0	0,0	0,0
Total Móviles	65,7	53,9	17.241,3	2.482,4	1.661,9	65,6	22,5
TOTAL MOVILES Y ESTACIONARIAS	6.151,8	5.693,3	81.109,7	2.967,7	38.788,2	529,3	69,1

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Notas:

NE = No Estimado

Las emisiones de PM10 de fuentes móviles reportadas en la tabla anterior, corresponden a las suma de las emisiones provenientes de la combustión y del desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones reportadas en la tabla anterior como CO, NOx y COV corresponden a emisiones provenientes de la combustión en caliente (cuando el vehículo se encuentra en régimen normal de operación), partidas en frío, balance frío/caliente. Para el caso específico de los COV, las emisiones corresponden, además, a la suma de emisiones evaporativas durante el recorrido, durante el día y por detenciones en caliente.

La categoría "Otros Buses" corresponde a buses particulares, y no incluye a buses rurales e interurbanos.

5.2.2 Escenario 2010 Con Medidas PDA

Tabla 187: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES, ESCENARIO 2010 CON MEDIDAS PDA, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES ESCENARIO 2010 OPTIMISTA							
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Industria	75,9	0,0	162,9	91,8	36,3	455,7	27,2
Combustión de Leña Residencial	4.913,9	4.775,4	4.7712,4	374,1	26.411,5	49,7	NE
Otras Combustión Residencial	0,5	0,5	3,6	17,7	1,4	0,0	0,0
Quemas Agrícolas	90,6	86,3	960,6	14,2	62,3	6,2	0,0
Incendios Forestales	27,7	23,5	268,6	8,7	18,4	2,6	2,7
Otras Fuentes	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Total Estacionarias	5.108,7	4.885,9	49.108,1	506,6	26.529,9	514,3	29,9
Taxibus	32,6	29,5	173,9	572,3	75,3	35,0	0,1
Otros Buses	0,9	0,8	4,3	14,2	1,2	0,5	0,0
Camiones	7,9	7,0	39,3	78,9	26,6	7,8	0,1
Veh Livianos Catalíticos	4,7	1,1	7259,7	444,2	292,4	4,8	18,6
Veh Livianos no Catalít.	3,2	1,7	8734,7	1132,3	1185,5	2,0	0,2
Veh. Livianos Diesel	8,8	6,8	289,9	118,0	31,4	11,7	3,4
Motos	0,0	0,0	29,6	0,2	10,0	0,0	0,0
Fuera de ruta	5,6	5,2	28,7	38,5	5,0	0,0	0,0
Total Móviles	63,7	52,1	16560,2	2398,5	1627,5	61,7	22,4
TOTAL MOVILES Y ESTACIONARIAS	5172,4	4938,1	65668,3	2905,1	28157,4	576,0	52,3

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Notas:

NE = No Estimado

Las emisiones de PM10 de fuentes móviles reportadas en la tabla anterior, corresponden a la suma de las emisiones provenientes de la combustión y del desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones reportadas en la tabla anterior como CO, NOx y COV corresponden a emisiones provenientes de la combustión en caliente (cuando el vehículo se encuentra en régimen normal de operación), partidas en frío, balance frío/caliente. Para el caso específico de los COV, las emisiones corresponden, además, a la suma de emisiones evaporativas durante el recorrido, durante el día y por detenciones en caliente.

La categoría "Otros Buses" corresponde a buses particulares, y no incluye a buses rurales e interurbanos.

La tabla siguiente entrega las emisiones de polvo fugitivo para el escenario 2010, las cuales no diferencian entre escenarios con o sin medidas del PDA, ya que dicho Plan no entrega medidas asociadas al control del polvo fugitivo.

Tabla 188: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES POLVO FUGITIVO, ESCENARIO 2010, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

POLVO FUGITIVO ESCENARIO 2010		
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5
	ton/año	ton/año
Construcción de Edificios	51,1	2,1
Construcción de Caminos	66,1	1,0
Total Construcción y Demolición	117,2	3,1
Calles Pavimentadas	377,0	90,2
Calles No Pavimentadas	4.889,8	501,4
Total Polvo Resuspendido	5.266,8	591,6
Cereales y Chacras	2,7	1,1
Cultivos Industriales	2,0	0,8
Hortalizas	1,2	0,5
Frutales	0,1	0,1
Total Preparación de Terrenos Agrícolas	6,0	2,5
TOTAL POLVO FUGITIVO	5.390,0	597,2

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Escenario 2015

5.2.3 Escenario 2015 Actual

Tabla 189: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES, ESCENARIO 2015 SIN MEDIDAS, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES ESCENARIO 2015 SIN MEDIDAS							
Categoría de	PM10	PM2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3
Fuente	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Industria	327,0	0,0	316,9	82,2	51,1	476,3	51,6
Combustión de Leña Residencial	5.751,9	5.589,8	67.268,3	408,9	38.205,9	54,4	NE
Otras Combustión Residencial	0,6	0,6	3,8	18,5	1,5	0,0	0,0
Quemas Agrícolas	94,2	89,8	998,9	14,8	64,8	6,4	0,0
Incendios Forestales	27,7	23,5	268,6	8,7	18,4	2,6	2,7
Otras Fuentes	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Total Estacionarias	6.201,5	5.703,8	68.856,5	533,2	38.341,7	539,8	54,3
Taxibus	19,1	17,1	18,5	466,8	71,8	46,8	0,1
Otros Buses	0,3	0,3	1,4	4,5	0,4	0,1	0,0
Camiones	8,7	7,7	44,6	87,9	31,0	9,9	0,1
Veh Livianos Catalíticos	7,2	1,7	12452,5	866,6	441,7	7,4	28,6
Veh Livianos no Catalít.	2,8	1,5	8357,8	1235,9	1099,7	1,8	0,2
Veh. Livianos Diesel	11,8	9,9	50,7	206,7	9,5	14,5	0,1
Motos	0,0	0,0	34,3	0,3	11,9	0,0	0,0
Fuera de ruta	5,3	4,9	25,3	31,4	4,3	0,0	0,0
Total Móviles	55,2	43,0	20985,2	2900,0	1670,3	80,6	29,0
TOTAL MOVILES Y ESTACIONARIAS	6256,7	5746,8	89841,7	3433,1	40012,0	620,4	83,4

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Notas:

NE = No Estimado

Las emisiones de PM10 de fuentes móviles reportadas en la tabla anterior, corresponden a la suma de las emisiones provenientes de la combustión y del desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones reportadas en la tabla anterior como CO, NOx y COV corresponden a emisiones provenientes de la combustión en caliente (cuando el vehículo se encuentra en régimen normal de operación), partidas en frío, balance frío/caliente. Para el caso específico de los COV, las emisiones corresponden, además, a la suma de emisiones evaporativas durante el recorrido, durante el día y por detenciones en caliente.

La categoría "Otros Buses" corresponde a buses particulares, y no incluye a buses rurales e interurbanos.

5.2.4 Escenario 2015 Con Medidas PDA

Tabla 190: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES, ESCENARIO 2015 CON MEDIDAS PDA, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

FUENTES ESTACIONARIAS Y MÓVILES ESCENARIO 2015 OPTIMISTA							
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH3
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Industria	87,8	0,0	187,0	103,1	36,7	529,4	31,2
Combustión de Leña Residencial	4.492,0	4.365,4	46.459,7	379,1	24.576,1	50,2	NE
Otras Combustión Residencial	0,6	0,6	3,8	18,5	1,5	0,0	0,0
Quemas Agrícolas	94,2	89,8	998,9	14,8	64,8	6,4	0,0
Incendios Forestales	27,7	23,5	268,6	8,7	18,4	2,6	2,7
Otras Fuentes	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Total Estacionarias	4.702,3	4.479,4	47.917,9	524,3	24.697,5	588,7	33,9
Taxibus	32,6	29,5	173,9	572,3	75,3	35,0	0,1
Otros Buses	0,3	0,3	1,4	4,5	0,4	0,1	0,0
Camiones	8,7	7,7	44,6	87,7	31,0	9,9	0,1
Veh Livianos Catalíticos	6,2	1,4	11108,3	776,7	376,5	6,3	24,6
Veh Livianos no Catalít.	2,8	1,5	8357,8	1235,9	1099,7	1,8	0,2
Veh. Livianos Diesel	8,1	6,7	45,5	197,8	8,2	12,1	0,1
Motos	0,0	0,0	34,3	0,3	11,9	0,0	0,0
Fuera de ruta	5,3	4,9	25,3	31,4	4,3	0,0	0,0
Total Móviles	64,1	52,0	19791,1	2906,6	1607,4	65,2	25,0
TOTAL MOVILES Y ESTACIONARIAS	4766,4	4531,4	67709,1	3430,9	26304,9	653,9	58,9

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Notas:

NE = No Estimado

Las emisiones de PM10 de fuentes móviles reportadas en la tabla anterior, corresponden a la suma de las emisiones provenientes de la combustión y del desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones reportadas en la tabla anterior como CO, NOx y COV corresponden a emisiones provenientes de la combustión en caliente (cuando el vehículo se encuentra en régimen normal de operación), partidas en frío, balance frío/caliente. Para el caso específico de los COV, las emisiones corresponden, además, a la suma de emisiones evaporativas durante el recorrido, durante el día y por detenciones en caliente.

La categoría "Otros Buses" corresponde a buses particulares, y no incluye a buses rurales e interurbanos.

La tabla siguiente entrega las emisiones de polvo fugitivo para el escenario 2015, las cuales no diferencian entre escenarios con o sin medidas del PDA, ya que dicho Plan no entrega medidas asociadas al control del polvo fugitivo.

Tabla 191: RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES POLVO FUGITIVO, ESCENARIO 2015, TEMUCO Y PADRE LAS CASAS.

POLVO FUGITIVO ESCENARIO 2015		
Categoría de Fuente	PM10	PM2,5
	ton/año	ton/año
Construcción de Edificios	59,0	2,4
Construcción de Caminos	47,1	0,7
Total Construcción y Demolición	106,1	3,1
Calles Pavimentadas	381,8	91,3
Calles No Pavimentadas	4.757,7	487,9
Total Polvo Resuspendido	5.139,4	579,2
Cereales y Chacras	2,2	0,9
Cultivos Industriales	2,5	1,0
Hortalizas	1,2	0,5
Frutales	0,2	0,1
Total Preparación de Terrenos Agrícolas	6,1	2,5
TOTAL POLVO FUGITIVO	5.251,6	584,8

Fuente: CONAMA IX REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Comparación de resultados distintos escenarios

A continuación se presenta una comparación de resultados de emisiones obtenidas dentro del presente estudio para distintos escenarios de emisión y para las fuentes afectas a medidas del PDA del área de estudio.

5.2.5 Combustión residencial de leña

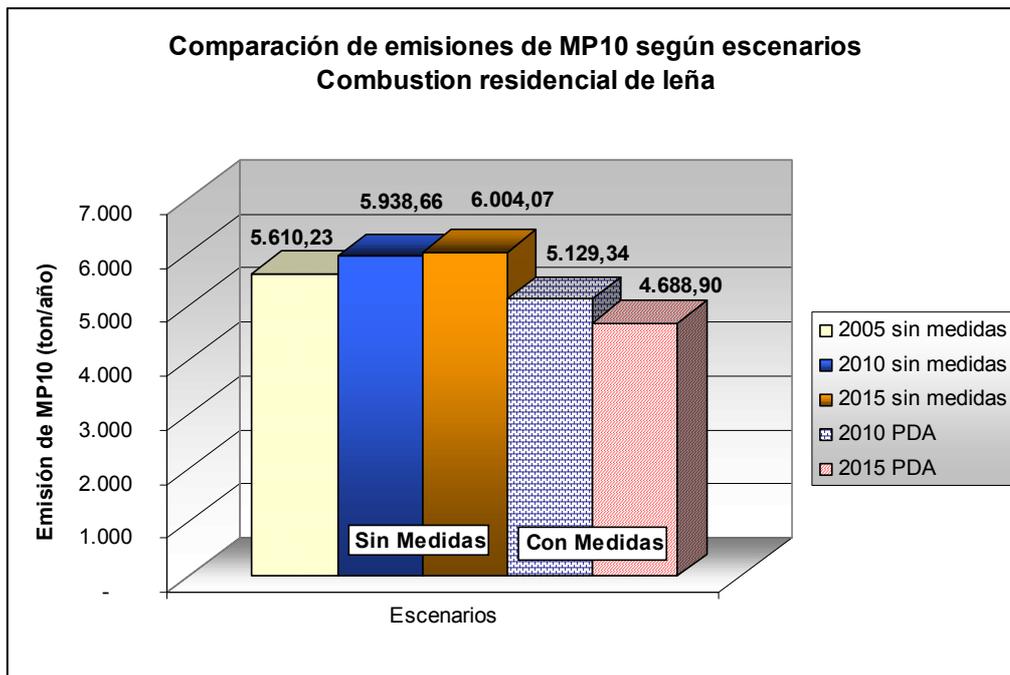


Figura 56. Comparación de emisiones MP10, distintos escenarios de emisión, combustión de leña.

Al comparar las emisiones entre los escenarios 2005, 2010 actual y 2015 actual se aprecia un aumento en las emisiones, principalmente explicado por el aumento del consumo debido al aumento de la población, considerando que los artefactos que ingresan son calefactores que cumplen con la normativa de emisión.

Al comparar el escenario base 2005 con los escenarios PDA proyectados 2010 y 2015 se observa una disminución en las emisiones de MP10, estas disminuciones de emisiones se explican principalmente por dos medidas contenidas en el PDA: Disminución en la humedad de la leña comercializada y Recambio de artefactos calefactores.

Al comparar los escenarios 2010 PDA y 2015 PDA se observa una baja en las emisiones totales de MP10, esto se explica básicamente por el recambio de artefactos, ya que si bien

existiría un aumento de consumo por el aumento de la población, este se vería amortiguado por los nuevos artefactos con menores tasas de emisión.

5.2.6 Quemas agrícolas

La medida del PDA asociada a esta fuente indica la prohibición de quemas en el período comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre. Al respecto, se consideró que las quemas comprendidas en dicho período no se suspenderían sino que se realizarían en los meses contiguos de marzo y octubre.

Así, como puede observarse en la figura siguiente, las emisiones anuales no experimentan variaciones entre escenarios con medidas o sin medidas sino que el cambio se produce en los perfiles temporales que representan la distribución de emisiones durante el año (ver Figura 34 y Figura 35).

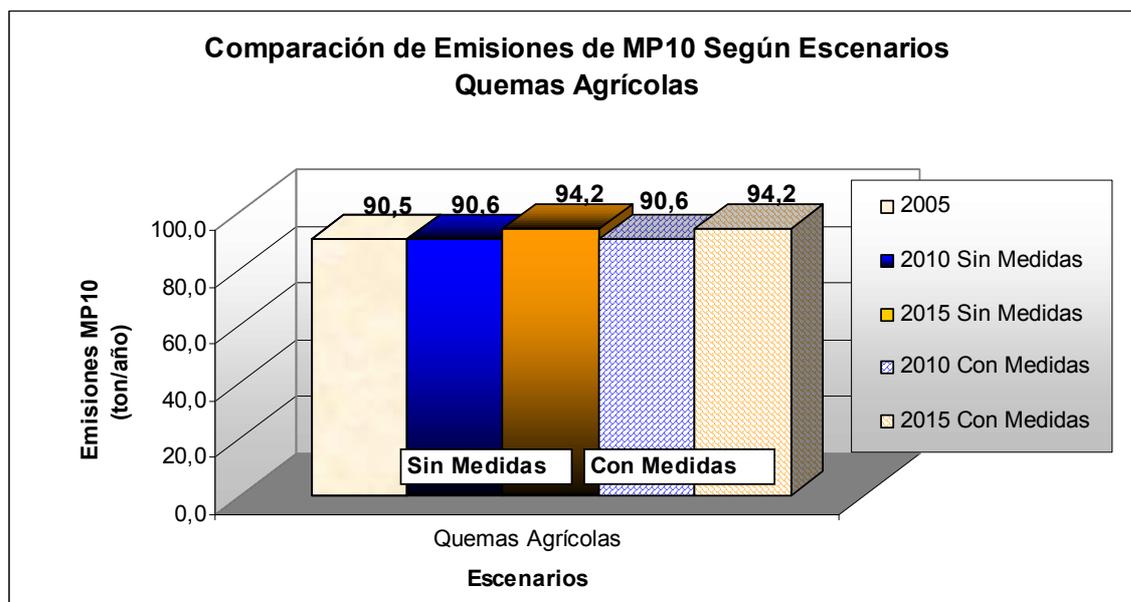


Figura 57. Comparación de emisiones MP10, distintos escenarios de emisión, quemas agrícolas

5.2.7 Fuentes móviles

Respecto a las fuentes móviles, el sector afecto a medidas de PDA se refiere a buses de transporte público y taxis colectivos. Específicamente, la medida indica que la Seremi de Transporte deberá implementar un programa destinado a que el sector transporte público no incremente las emisiones que generaba al año 2007.

La Figura 58 muestra una comparación de emisiones de MP10 del total de fuentes móviles (vehículos livianos, camiones, buses, taxis colectivos y vehículos fuera de ruta). En términos generales, se observan una leve disminución de emisiones respecto al escenario base 2005 al considerar escenarios con medidas, tanto para el año 2010 como para el 2015. La disminución en emisiones que se observa en el escenario 2015 Sin Medidas se debe fundamentalmente a la reducción de emisiones experimentada por los buses de transporte público, la cual se basa en los cambios asociados a la mejora tecnológica de los buses producto del retiro de buses de tecnología convencional por cumplir su vida útil, y el reemplazo por buses de tecnología Euro II, los cuales pasan de 16% en el año 2005 a 79% en el escenario 2015 Sin Medidas.

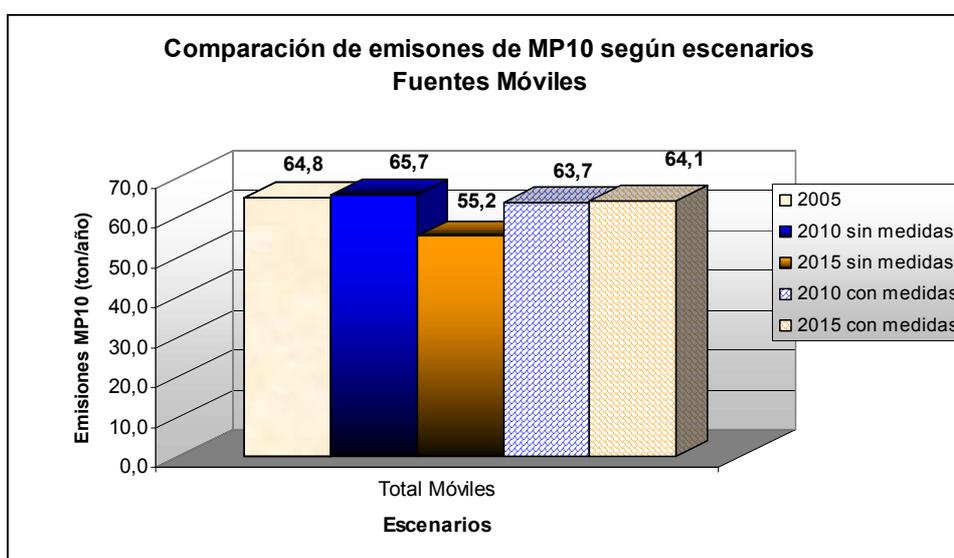


Figura 58. Emisiones de MP10 fuentes móviles, distintos escenarios.

Cabe destacar que si se observan los resultados por fuentes bajo medida PDA, específicamente el caso de **buses de transporte público**, la variación entre escenarios es aún más notoria. En la Figura 59 se presentan las estimaciones efectuadas para distintos escenarios y se incluye un escenario al que se denominó “optimista”. En resumen, y tal como se mencionó en la sección de fuentes móviles en ruta del presente informe, se evaluaron cuatro escenarios:

- **Escenario 2005:** corresponde a aquel que representa las emisiones estimadas para el año 2005 con la situación actual de aquel período.
- **Escenario Sin Medidas:** corresponde a la evaluación de las emisiones del sector transporte público considerando 20 años de vida útil para buses y un crecimiento anual de 3% para taxis colectivos.
- **Escenario Con Medidas PDA:** corresponde a la evaluación de emisiones considerando para los años 2010 y 2015 las mismas emisiones del sector transporte público que se estiman para el año 2007.

- **Escenario Sin Medidas Optimista:** corresponde a la evaluación de emisiones considerando 18 años de vida útil para buses de transporte público y 5 años para taxis colectivos sumado este último a un crecimiento anual de 3%.

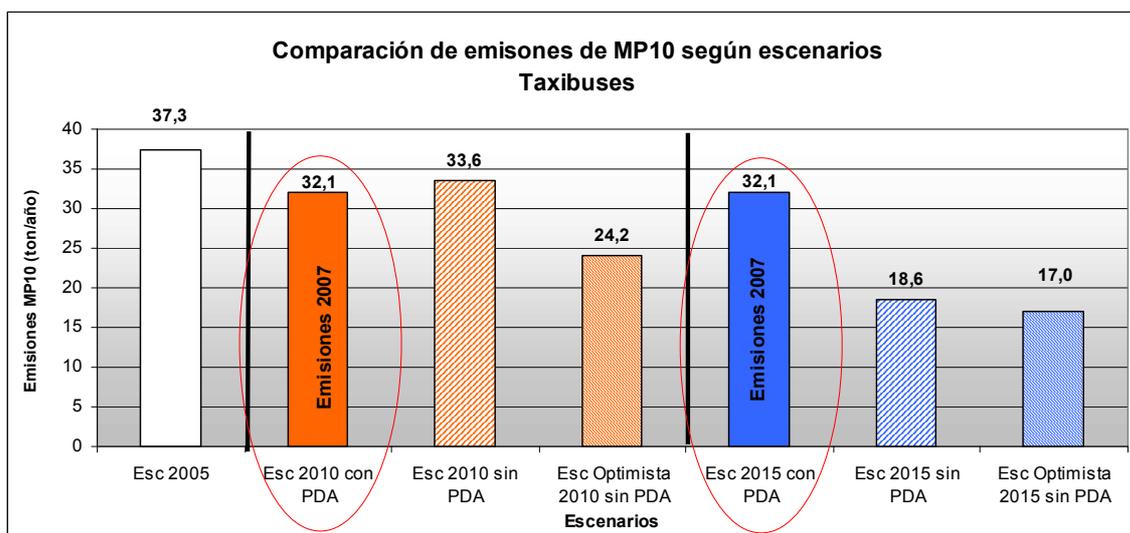


Figura 59. Comparación de emisiones de MP10, distintos escenarios, buses transporte público

La medida del PDA asociada a transporte público indica que las emisiones del sector no podrán superara las emisiones generadas en el año 2007. Si se considera como cota superior entonces las emisiones del año 2007 para buses y taxis colectivos, al 2015 la medida no favorecerá la reducción de emisiones del sector. Las emisiones de los dos escenario evaluados (Sin Medidas y Sin Medidas Optimista) experimentarían reducciones más significativas, tal como se observa en la gráfica anterior.

Así mismo, se puede observar que las emisiones de MP10 del escenario 2010 Optimista, es decir, considerando una vida útil de 18 años, se reducen un 33% respecto al escenario 2005, y el escenario 2015 Optimista un 53% respecto al escenario 2005.

Respecto a los **taxis colectivos**, las emisiones de MP10 generadas por los vehículos bencineros en inventarios anteriores se consideraron despreciables (igual a cero dentro del modelo de emisiones MODEM). Dentro del estudio denominado “Investigación de Instrumentos de Planificación Ambiental para Ciudades Intermedias, Etapa III” desarrollado por Mideplan-Sectra-Dictuc, durante el año 2006, se le asignó un factor de emisión de MP10 para vehículos bencineros catalíticos que si bien no entrega emisiones significativas de este contaminante (igual a 0,0046 g/km³⁸) al calcular emisiones entregan valores mayores a cero

³⁸ Fuente: PART V, EPA.

para esta categoría, sin embargo, este valor se entrega de manera equivalente para los dos tipos de vehículos catalíticos (taxis colectivos catalíticos tipo 1 y tipo 2). Es por esta razón que en la Figura 60 no se observan variaciones de emisiones de MP10 para los escenarios Sin Medidas y Sin Medidas Optimista aun cuando las composiciones tecnológicas (ver Tabla 126) de vehículos catalíticos tipo 1 y tipo 2 cambian en cada escenario (las composiciones de vehículos diesel se mantiene prácticamente constantes en el tiempo por la baja incorporación de este tipo de vehículo de manera histórica). Cabe mencionar que en la actualidad se están generando en nuestro país curvas de emisión (factores de emisión) representativos de la realidad nacional, por lo que estos cálculos de emisiones de MP10 para taxis colectivos experimentarán variaciones entre escenarios si se utilizan los futuros resultados de factores que se obtendrán.

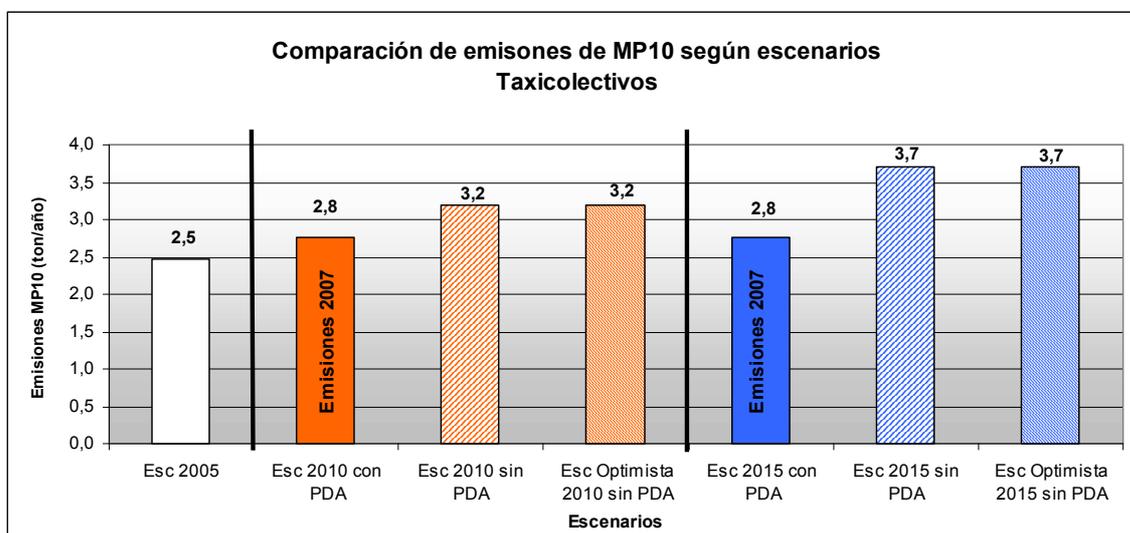


Figura 60. Comparación de emisiones de MP10, distintos escenarios, taxis colectivos.

5.2.8 Fuentes industriales

La implementación de las medidas de control de emisiones establecidas en el Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica para las comunas de Temuco y Padre las Casas, en su capítulo III, “Control de emisiones asociadas a fuentes industriales, comerciales y calderas de calefacción grupales de las comunas de Temuco y Padre las Casas”, implica una reducción estimada de un 68 %, entre los años 2005 y 2010, luego un aumento de un 16% entre el 2010 y 2015, producto del crecimiento normal por PIB.

Las reducciones más significativas se dan en las calderas de calefacción, industriales y en el procesamiento de granos, las panaderías a pesar de que no aportan significativamente, generan un impacto local alto debido a sus altos consumos en poco tiempo y que sus chimeneas son de

baja altura y a que están localizadas en zonas pobladas, por lo cual su conversión a combustible menos emisores es muy útil.

La figura siguiente indica la comparación de escenarios efectuada para el sector industrial.

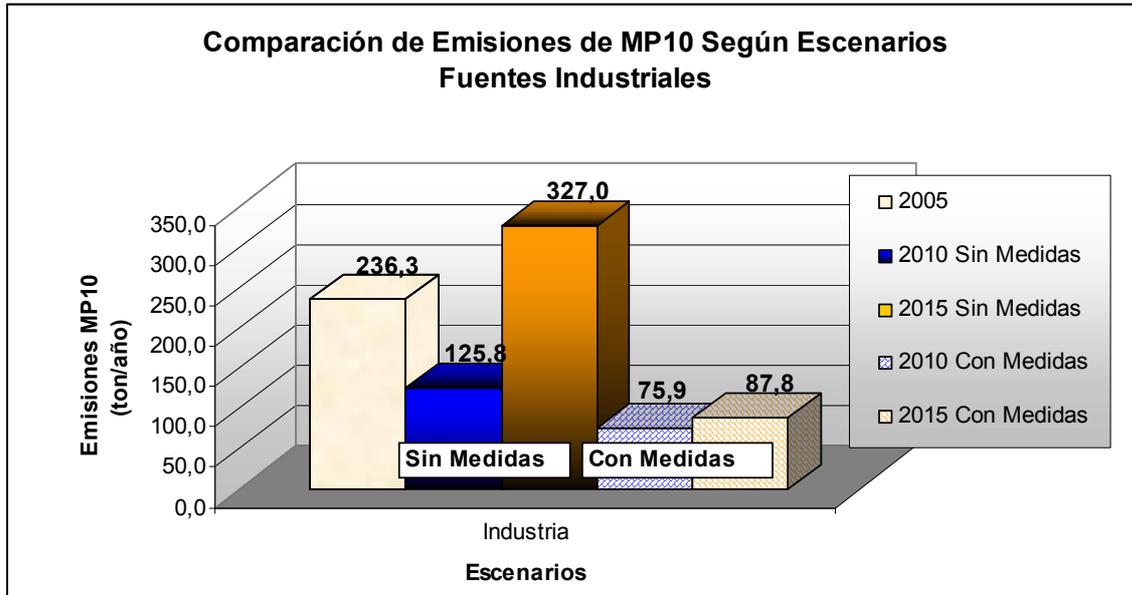


Figura 61. Comparación de emisiones de MP10, distintos escenarios, fuentes industriales.

6 BIBLIOGRAFÍA

- “Results from Tests on Wood Stoves and revised Recommendations for Emission Limit Values for Chile”. Thomas Nussbaumer. Report for CONAMA and COSUDE. Zürich, 10. May 2006.
- Inventario de emisiones RM, CENMA (2001)
- Inventario de emisiones RM DICTUC (2004), inventario 2000 del PPDA e inventario 2000 validado respectivamente.
- Inventario de emisiones RM, DICTUC 2007.
- Inventario de Emisiones IX región, CONAMA 2002.
- “Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), Residential Wood Combustion. 2001”, EPA.
- “Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas”, Universidad de Concepción 2002.
- “Estudio de Secado de Leña y Equivalencias de unidades de comercialización” - Universidad Católica de Temuco, 2004.
- EPA AP-42, Fuente: AIRCHIEF V.8. Copilation of Air Pollutant Emission Factors, V.I Stationary Point and Area Sources Fifth Edition. Cap. 1.4 Natural Gas Combustion " Tablas 1.4-1; 1.4-2"; Cap. 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion " Tabla 1.5-1".
- CARB -Midwest Research Institute. SECTION 7.7 BUILDING CONSTRUCTION DUST (Revised September 2002).
- CARB- Midwest Research Institute. SECTION 7.8 ROAD CONSTRUCTION DUST (Updated August 1997).
- EPA. Miscellaneous Sources, Section 13.2.1 y 13.2.2, Unpaved Roads and Paved Roads.
- CARB. Section 7.17, Agricultural Burning and Other Burning Methodology, June 2005.
- Section 7.4 Agricultural Land Preparation, CARB, 1997, y revisión de AP –42 4ta edición Section 11.2.2.
- “Actualización de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana”, CONAMA RM , 2000.
- “Actualización del Modelo de Cálculo de Emisiones Vehiculares”, SECTRA, enero 2002.
- COPERT III, Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1), November 2000, European Environment Agency.
- “Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco”, Mauricio Lobos, Temuco 2001.
- “Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con Leña y otros combustibles de biomasa”, CONAMA – Ambiente Consultores, 2007.
- “Análisis general del impacto económico y social del plan de descontaminación atmosférica de Temuco y padre las casas”, CONAMA IX – CENMA 2007.

- “Characterisation and source apportionment of particulate matter in two urban areas of Chile”, Christer Johansson¹, Gustavo Olivares¹ & Lars Gidhagen, 2007.
- Source apportionment of PM10 and PM2,5 in five Chilean cities using factor analysis, Ilias G. Kavouras and Petros Koutrakis, 2001.
- “Anteproyecto de plan de Descontaminación atmosférico para las Comunas de temuco y padre las casas”, CONAMA IX, 2007

7 ANEXOS

ANEXO A. Diseño Encuesta de Terreno, Tipo 1.

ANEXO B. Diseño Encuesta de Terreno, Tipo 2.

ANEXO C. Resultados de encuesta de consumo de leña.

ANEXO D. Descripción de Categorías Vehiculares.

ANEXO E. Resumen de Inventario 2000 y comparación de resultado.

ANEXO F. Reporte de Inventario de Emisiones por Fuente, Escenarios 2005, 2010 y 2015.

ANEXO G. Análisis modelo receptor de Koutrakis y de Johansson & col.

ANEXO H. Resumen Ejecutivo Inventario de Emisiones.